水産研究・教育機構 機関リポジトリ
FRA Japan Fisheries Research and Education Agency Institutional Repository

salmon情報 No.10

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 水産総合研究センター
	公開日: 2024-07-02
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者:
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2009562

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

水産総合研究センター 研究開発情報

ISSN 1881-705X

FRA Salmonid Research Report

SALMON 情報

第10号

2016年3月

編集　北海道区水産研究所

国立研究開発法人
水産総合研究センター

目　次

研究成果情報

技術情報

会議報告

トピックス

さけます情報

mini column

表紙の写真は今から 100 年以上前，明治 40 年代の虹別さけます事業所です．手前右下の西別川の向こうに水路やサケの養魚池（飼育池）が見え，その奥にはふ化室や宿舎らしき建物も見えます．水の豊富なこの地を切り開いてふ化場を建設したことがわかります．

人里離れたこの地で，厳しい環境の中，先人達が生活しながらふ化放流事業に取り組んだことがしのばれる貴重な写真です．

研究成果情報

東日本大震災がサケ資源に及ぼす影響評価シミュレーション

渡邉（わたなべ） 久爾（きゅうじ）（北海道区水産研究所　さけます資源部）

はじめに

2011 年 3 月，東日本大震災は本州太平洋側のサケ *Oncorhynchus keta* を襲いました（小川・清水 2012）．この震災は，民間ふ化場を破壊しただけではなく，2010 年級群の飼育中の稚魚および震災前に放流した稚魚に大きな損害を与えた可能性があります．壊滅的な状況にあった沿岸陸海域の中で生き残ることができた稚魚は主に4年および 5 年魚になると成熟し（岩手県 2005），それぞれ 2014 年および 2015 年に母川に帰って来ます．そのとき，いったいどのような問題が生じ，どのような対応が必要となるでしょうか？未来を正確に予測することは困難です．しかし，水産資源の持続的利用を目的とした資源管理（放流数一定方策）を行う上で，ある確率で生じる問題に対応することは重要です．そこでシミュレーション（模擬数値実験）が有効となります．資源と漁業の関係をモデル化しシミュレーションすることで，将来生じる可能性がある“潜在的問題”を仮想現実の中で知ることができ，問題への対応策の効果も試算できます．このようなアプローチは，国際捕鯨委員会における鯨類管理方式の開発から始まり（桜本ら 1991; 北原 1996; 田中 2001），現在ではミナミマグロ *Thunnus maccoyii*（高橋ら 2015）などに実施されています．本稿では，岩手県を対象としたサケ資源変動モデルの中に震災由来の生残率や沿岸漁獲率を設定し，震災や漁獲が資源変動に与える影響をシミュレーションにより評価した取り組みを紹介します（Watanabe et al. 2015）．なお，この論文でシミュレーションを試みた 2014 年と 2015 年の漁期は，本稿の掲載時期において既に終了していることをご理解ください．

資源変動モデルとシミュレーションの概要

モデルは，サケの全生活史を通して資源尾数が変動する過程を年齢別に描き出す年齢構造モデルです．モデルについては，過去の実績データを用いて作成します．ここで，3 つのモデルとその計算過程について概念図を用いて説明します(図 1)．まず，来遊数は，放流数，震災由来の生残率（L）および放流から 2 年魚に至るまでの生残率（S）といった主要パラメータによって決まります（モデル 1）．次に，来遊数と沿岸漁獲率（E）を用いて，沿岸漁獲数と河川捕獲数をそれぞれ算出します（モデル 2）．沿岸漁獲率とは，来遊数に占める沿岸漁獲数の比率を意味します。次に，河川捕獲数を用いて翌年の放流数（モデル 3）を算出します．最終的に，算出した放流数についてはモデル 1 を通して次年の来遊数の計算に用います．この計算サイクルを繰り返して，2014 年から 2030 年まで計算を行います．

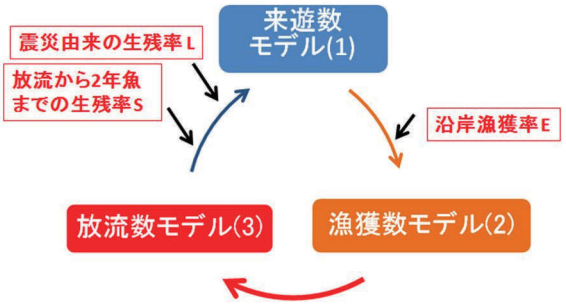

図 1. モデルとシミュレーションの概念図.

シナリオ設定

上述のモデルによってコンピューターの中に仮想現実が作られます。この仮想現実の中に様々な事象（シナリオ）を起こすために，図 1 の各モデルのパラメータ（赤字で示す）に場合分けした数値条件を与えます（表 1）．このことをシナリオ設定といいます．震災由来の生残率 L に与える数値については，全く頼る情報がないので 0〜1 を範囲とし，それを 0.25 間隔で 5 段階に層化して与えます．放流から 2 年魚に至るまでの生残率 S の場合，過去の値を基に下位 10%値（低水準，0.019）および中央値（0.046）を設定します．沿岸漁獲率 E の場合，従来操業のケース（E＝ 中央値，0.912）と漁獲率低水準ケース（E＝下位 10%値，0.864）を設定します．従来操業とは，管理者が従来通りの行動をすることであり，ある問題に対して何も手段を講じないことを意味します．なお，従来操業ケースの中で，最も資源量が低下する悲観的なシナリオは，シナリオ A1 となります．

シミュレーションでは，20 個のシナリオ別に設定したパラメータのうち S と E に乱数を与え，ある 1 つのシナリオに対して 1000 回計算を繰り返しました．つまり，ある 1 つのシナリオで 2014～2030 年における年別の来遊数，漁獲数および放流数をそれぞれ 1000 個算出しました．これをモンテカルロ・シミュレーションと呼びます（参考 Vose 2000）．

シミュレーション結果 ～問題の検出と対応策の効果 ～

結果を説明する前に，“はじめに”で述べた“潜在的問題”とは何かあらかじめ定義します．ここでは，放流数が目標値 4.05 億尾に達しない状況のことと定義します．その上で 2014 年の結果を見ると（図 2b），従来操業ケースではシナリオ A1（最も悲観的）~A5，B1 および B2（図 2 における青色の枠線）で放流数の中央値が目標値に達しませんでした．なお，中央値とは 1000 個の算出値を値の小さい順に並べたとき中央に位置する値を意味します．一方，漁獲率を低水準に下げたケースではどうなるでしょうか？放流数の中央値が目標値に達しないシナリオは A1~A3 の 3 つだけとなりました（図 2e）．

次に，長期的なシミュレーションの結果を見てみます（図 3）．放流から 2 年魚までの生残率 S が低水準で従来操業ケースの場合（A1~A5），震災由来の生残率 L がどのような場合でも放流数の中央値は経年的に減少し，約 1～2 億尾にまで減ってしまいました（図 3 の青線）．一方，生残率 S を中央値に増加させた従来操業ケースの場合（B1~B5）はどうなるでしょうか？震災由来の生残率 L が 0.00 および 0.25 のシナリオ B1，B2 において放流数の中央値は 2014，2015 年で目標値を下回りましたが、それ以外のシナリオ B3~B5 では目標値に達しています．生残率 S が低水準から中央値に増加することで震災由来の生残率 L が S に相殺されて，放流数不足が起こりにくくなりました．

震災由来の生残率 L や放流から 2 年魚までの生残率 S を同じ条件として，沿岸漁獲率だけを低水準に下げるケースの場合（C1~C5，D1~D5）どうなるでしょう？S が低水準であるシナリオ C1~C3 では放流数の中央値は 2014，2015 年に目標値以下となるもののそれ以後は目標値に達しました（図 3 の緑線）．一方，シナリオ C4 と C5 では，放流数の中央値は 2014～2030 年の期間にかけて目標値を下回ることはありませんでした（図 3 の赤線）．S が中央値であるシナリオ D1 では放流数の中央値は 2014，2015 年に目標値以下となりましたが（図 3 の緑線），シナリオ D2 では目標値を下回ることはありませんでした（図 3 の赤線）．すなわち，生残率 S が低水準である従来操業ケースのシナリオで，放流数が目標値を下回ることが起りましたが（A1~A5），沿岸漁獲率を中央値から低水準に減少させるという対応策（漁獲率低水準ケース）によって放流数が目標値に達成することがわかりました．

表1．沿岸漁獲率 (*E*), 放流から2年魚までの生残率 (*S*)および震災由来の生残率(*L*)を場合分けして作成したシナリオ．

ケース	シナリオ名	パラメータ		
		沿岸漁獲率 *E*	生残率 *S*	震災由来生残率 *L*
従来操業	**A1(悲観)**	**中央値**	**低**	**0.000**
	A2	中央値	低	0.250
	A3	中央値	低	0.500
	A4	中央値	低	0.750
	A5	中央値	低	1.000
	B1	中央値	中央値	0.000
	B2	中央値	中央値	0.250
	B3	中央値	中央値	0.500
	B4	中央値	中央値	0.750
	B5(楽観)	**中央値**	**中央値**	**1.000**
漁獲率低水準	C1	低	低	0.000
	C2	低	低	0.250
	C3	低	低	0.500
	C4	低	低	0.750
	C5	低	低	1.000
	D1	低	中央値	0.000
	D2	低	中央値	0.250
	D3	低	中央値	0.500
	D4	低	中央値	0.750
	D5	低	中央値	1.000

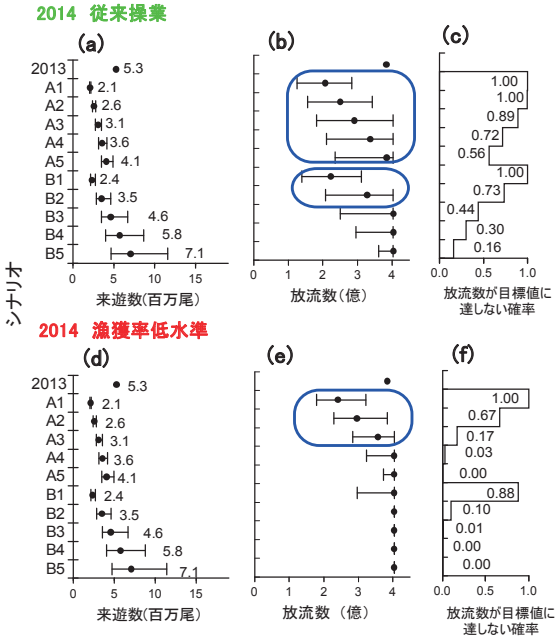

図 2．シミュレーションによる 2014 年の来遊数，放流数および放流数が目標値に達しない確率．算出値の中央値を黒丸で示し，下位 10%と上位 10%の値を左右水平バーで示す（Watanabe et al. 2015 を改変）．

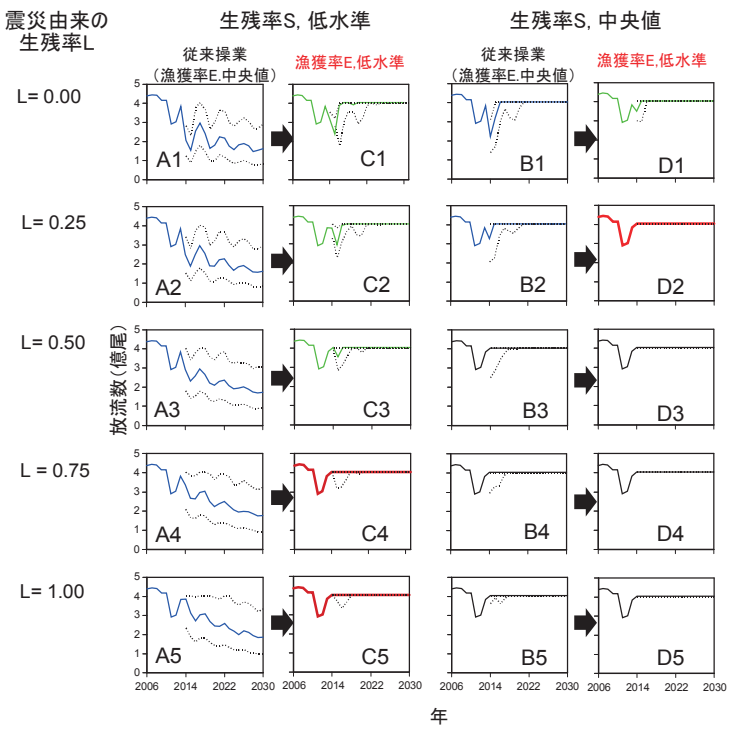

図 3. 2014～2030 年におけるシナリオ別の放流数の中央値（直線），下位 10%値および上位 10%値（点線）.

おわりに

資源管理を実行する場合，事前の問題把握と管理目的の設定が必要です．本稿では，複数のシナリオの下でシミュレーションを実行することによって，将来生じる可能性がある“放流数不足”がどのような状況の下で発生するのか把握できました．つまり，従来操業の漁業の下で放流から 2 年魚までの生残率 S が低水準の場合，放流不足は頻繁に起きました．さらに，この問題への対応策の効果に対して洞察を与えました．すなわち，沿岸漁獲率を低水準値にすることで問題を効果的に緩和させることから，海産卵による種卵確保という対応策と同様に漁獲率の削減という対応策も有効であることがわかりました．本研究により資源管理のための情報整理ができたといえます．ただし，実際に対応策を実施するためには知見が十分とはいえません．なぜならば，もしも実際に沿岸漁獲率を下げる場合，具体的にどのような手段を用いて沿岸漁獲率を下げるのかについても理解する必要があるからです．つまり，実際に漁獲が行われる定置網の設計および網揚げと魚群行動の関係といった実証研究が必要です（井上・長洞 1987）．資源管理の実践という明確な目的の下で、シミュレーションと実証研究の両方を行うことが重要です．

謝辞

本稿の研究は，岩手県水産技術センターの小川元氏，東北区水産研究所沿岸資源研究センターの佐々木系氏および北海道区水産研究所の斎藤寿彦氏と共同で行いました．研究にあたり，岩手県庁の清水勇一氏，佐々木将氏，北海道区水産研究所の小軽米成人氏，高橋史久氏および平林幸弘氏には協力を頂きましたので，感謝の意を表します．本研究は平成 23 年度所裁量費を受けて実施しました．

引用文献

井上善洋・長洞幸夫．1987．　三陸沿岸の定置網漁場におけるサケ魚群の行動．日本水産学会誌，53: 699-704.

岩手県．2005．平成 15 年度岩手県のさけ・ますに関する資料．岩手県農林水産部水産振興課，盛岡．316 pp.

小川　元・清水勇一．2012．東日本大震災からの岩手県さけ増殖事業の復興と資源回復の課題．日本水産学会誌, 78: 1040-1043.

北原　武（編）．1996．クジラに学ぶ－水産資源を巡る国際情勢－．成山道書店，東京．pp. 98-122.

桜本和美・田中昌一・加藤秀弘（編）．1991．鯨類資源の研究と管理．恒星社厚生閣，東京．273 pp.

高橋紀夫・境 麿・伊藤智幸・黒田啓行．2015．20 ミナミマグロ．「平成 26 年度国際資源の現況」（水産庁編）水産庁・水産総合研究センター，東京．URL: http://kokushi.job.affrc.go.jp/H26/H26_20.html．（参照 2015-12-01）．
田中昌一．2001．水産資源学を語る．恒星社厚生閣，東京．pp. 126-132.
Vose, D. 2000. Risk analysis: a quantitative guide 2nd edition. John Wiley & Sons, NY.（日本語訳 長谷川専・堤盛人．2003．勁草書房，東京．567 pp.）
Watanabe, K., Sasaki, K., Saito, T., and Ogawa, G. 2015. Scenario analysis of the effects of the Great East Japan Earthquake on the chum salmon population-enhancement system. Fish. Sci. 81: 803-814.

コラム

東日本大震災からのさけふ化放流事業の復興状況

岡田（おかだ） 義郎（よしろう）（東北区水産研究所 沿岸漁業資源研究センター）

はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災は東北太平洋のさけふ化放流事業に大きな被害を与えました．岩手県では沿岸ふ化場 28 ふ化場 38 施設のうち 20 ふ化場 27 施設が被災し，宮城県では 17 ふ化場 19 施設のうち 12 ふ化場 14 施設が被災しました．また，福島県では 10 ふ化場 13 施設のうち 6 ふ化場 8 施設が被災し，加えて 4 ふ化場 8 施設では東京電力福島第一原子力発電所の事故により立ち入りすら出来なくなりました．サケ資源の大部分は人工ふ化放流によって維持されているため、ふ化場施設の復旧は急務でした。このことから被災地では生活環境もままならないなか，早期のふ化放流事業の再開に向け施設の復旧が行われて来ました．被災したふ化場のうち，2011 年の秋には岩手県で 17，宮城県では 13，福島県では4箇所のふ化場で稚魚生産が実施されています．2012 年春の放流数は震災前（2009 年，以下同様）に比べ岩手県で 70%，宮城県で 75%、福島県では 15%程度となりました．その後，2012～2014 年度の施設の復興についてはそれぞれの地域の実情に応じて進められ，2014 年度末のふ化放流計画では岩手県では88%，宮城県では99%まで施設復興が進みましたが，福島県では原発事故の影響で 22%程度に留まっていました．

2015 年度に復旧したふ化場施設

震災から 5 年後の 2015 年度の主な施設整備として，岩手県では震災年に仮復旧した津軽石ふ化場の飼育池が整備され，宮城県では仮設のふ化室で管理していた本吉町ふ化場のふ化室が，ふ化室のみ仮復旧していた南三陸町ふ化場小森施設が種卵から稚魚までの一貫した管理ができる施設に整備されました．さらに原発事故により立ち入りが制限されていた福島県の楢葉町では，10 月の帰町宣言が出されたことにより，町内にある木戸ふ化場が 1,000 万尾のさけ稚魚を生産管理できる施設に整備中であります．工事の遅れで残念ながら

写真 1. 岩手県津軽石ふ化場 震災後アルミ池.

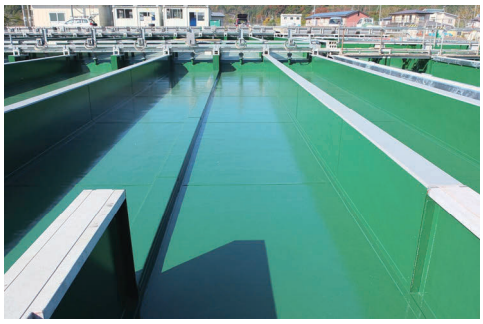

写真 2. 岩手県津軽石ふ化場 アルミ製飼育池を仮復旧し使用していたが，津波時の塩分により腐食が発生，コンクリート製で復旧.

2015 年度は 150 万尾程度の稚魚生産となりますが，震災で中断されていたふ化放流事業が 5 年ぶりに再開されています．震災前の木戸川は全国屈指のさけの遡上河川として首都圏からの観光客で活気を呈しており，楢葉町では復興のシンボルとして期待しています。

震災復興の現状と今後の復興計画

岩手県の2015年度のふ化放流計画数は4億370万尾と震災前の 2009 年度に対し約 92%となり，廃場を決めたふ化場を除き震災復興による施設整備は順調に進んでおります．

宮城県の 2015 年度のふ化放流計画数は 5,150 万尾で震災前の 99%となっていますが，被災した南三陸町ふ化場水尻施設・後川ふ化場・大原ふ化場・女川町ふ化場では近隣ふ化場で生産された稚魚の供給や，仮復旧施設でのふ化放流を余儀なくされています．これらふ化場については施設整備が計画されており，生産能力に余裕のない宮城県では早期の整備が期待されています．

福島県の 2015 年度のふ化放流計画数は 2,390 万尾で震災前の 49%となりました．今後の施設復旧は廃場を決定したふ化場を除き，仮復旧している新田ふ化場の整備が計画されています．また，原発事故により立ち入り制限区域にある泉田ふ化場では早期の放流再開を希望していますが，具体的な計画には至っていません．

おわりに

現在、各県ふ化場の震災被害からの復興状況は先に述べたように岩手県では約 92%となっています．宮城県では本格的な復旧が見通されるようになってきました．一方，福島県では，木戸ふ化場の復興整備により震災以後中断されていた福島中部地区でのふ化放流事業がようやく再開されたところです．また，震災年級群の回帰年に当たる 2014 年・2015 年度の種卵確保は，各県共に河川捕獲親魚だけでは不足し，沿岸漁業の自主規制や沿岸漁獲親魚からの採卵を行うなどの対応をとっており，安定的な種卵確保にはまだまだ年数がかかるものと考えています．水産総合研究センターでは，ふ化放流施設の整備やふ化事業の技術普及を通じて復興支援に努めて参りましたが，今後も，施設整備への助言・復興ふ化場への技術普及・種卵確保に向けた技術的な支援を行いたいと考えております．

写真 3. 宮城県南三陸町ふ化場小森施設
震災後（ふ化室のみ仮復旧）.

写真 4. 宮城県南三陸町ふ化場小森施設.

写真 5. 福島県楢葉町木戸ふ化場.

写真 6. 木戸ふ化場　ふ化放流事業再開.

研究成果情報

外来サケ科魚類ニジマス・ブラウントラウトの定着メカニズムと在来生態系への影響

長谷川（はせがわ） 功（こう）（北海道区水産研究所　さけます資源部）

ニジマス *Oncorhynchus mykiss* とブラウントラウト *Salmo trutta* は，それぞれ北米からカムチャッカ半島にかけての地域，ヨーロッパ周辺の地域が原産のサケ科魚類で，日本には外来種として生息しています（図 1）．両種は，スポーツフィッシングの人気ターゲットであり，本州を中心に養鱒業界でも重宝されている水産有用種なのですが，自然河川に侵入するとサケ科魚類をはじめとした在来の魚類や生態系の存続を脅かすことがしばしばあるため，どのように管理すべきか，という議論が続いています．環境省が選定を進める侵略的外来種リストでは，レイクトラウト *Salvelinus namaycush* とともに産業管理外来種（適切な管理が必要な産業上重要な外来種）にすることが提案されていますが，検討の余地は多いようです．ちなみに，両種は海外でも，外来種として日本と同じような問題を起こしているため，国際自然保護連合（IUCN）によって侵略的外来種ワースト 100 に挙げられています（Lowe et al. 2000）．どのような方針になるにせよ，管理策について議論するには，ニジマスとブラウントラウトの特性と，どのようにして日本の河川に定着し，在来の生物や生態系にどのような影響を与えるのか，把握しておくことが必要です．両種の特性や日本への侵入の経緯については，SALMON 情報（またはさけ・ます資源管理センターニュース）の「サケ科魚類のプロファイル（鈴木 2004；長谷川 2010）」で紹介しましたので，今回は両種の定着メカニズムと在来の生物や生態系への影響の詳細について解説し，最後に管理方針に関する議論の仕方について考えてみたいと思います．

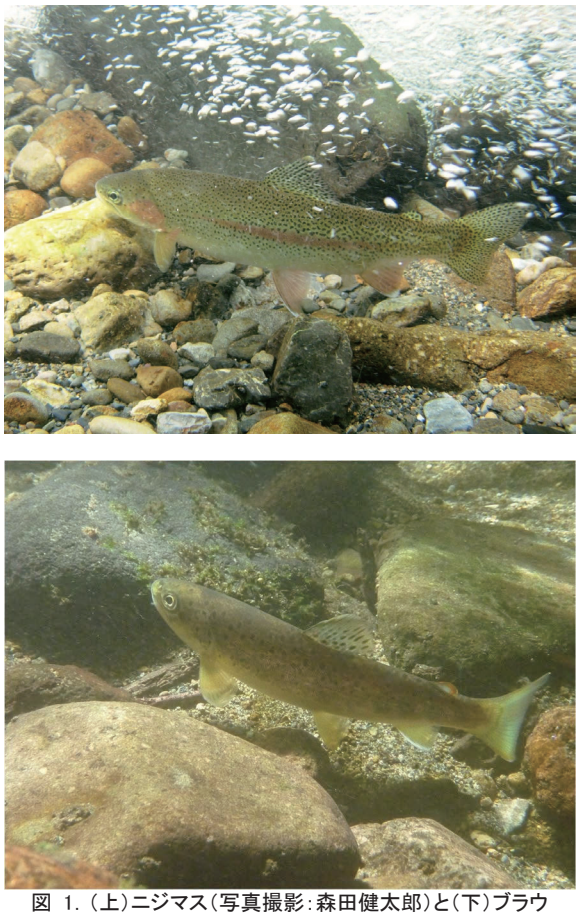

図 1.（上）ニジマス（写真撮影：森田健太郎）と（下）ブラウントラウトの水中写真．

定着の条件とメカニズム

ニジマスとブラウントラウトが日本の水域に定着（親から子へ，世代交代を繰り返す）するには，まず物理的環境面の制約，次に，その水域に生息している生物との種間関係による制約をクリアする必要があります（図 2）．

ニジマス，ブラウントラウト共に，一部の個体が海へ下る降海型，全ての個体が一生を河川で過ごす陸封型の両方の個体群が存在します．したがって，海との行き来ができない水域にも定着することができます．ただし，サケ科魚類ですので，

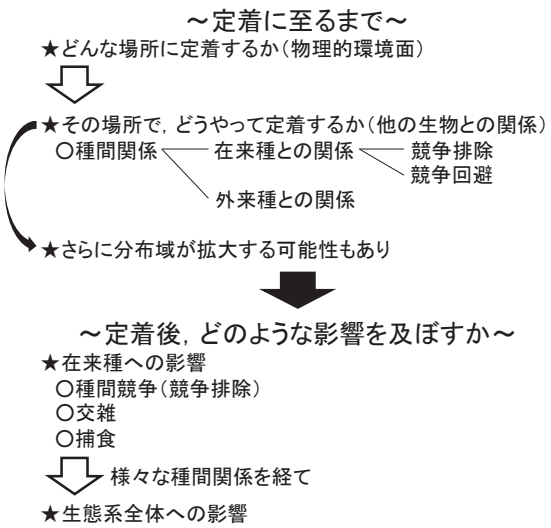

図 2. 外来サケ科魚類が日本の河川に定着し，在来生態系への影響に至るまで（長谷川 2013　図 1 を改訂）．

夏季に水温が高くなりすぎる水域には定着できません．両種が生息できる水温は，本州に広く分布するサケ科魚類イワナ *Salvelinus leucomaenis* やヤマメ（アマゴ）*Oncorhynchus masou masou*（*ishikawae*）とだいたい同じくらいです．また，降海型の個体が海を介して，これまで生息が確認されていなかった河川へ分布域を広げる可能性がかねてから指摘されており，実際に北海道ではブラウントラウトの新たな河川への侵入が確認されています（青山ら 2002；森田ら 2003）．いずれの事例も 1 個体のみの確認でしたが，Honda et al.（2012）はブラウントラウトが雌雄ともに降海することを確認していますし，新たに侵入した河川で，もしペアが産卵すれば，そこに個体群が形成されることは十分にあり得ます．また，長野県松本市を流れる信濃川水系梓川流域では，農業用の用水路を通じてブラウントラウトの分布域が広がったと考えられています（北野ら 2013）．本州ではサケ科魚類といえば，山奥の渓流に棲む魚，とイメージされがちですが，冷涼な地域では，畑作・稲作地帯を流れる川に彼らがごく普通に生息しています．そのことを考えると同様の分布域拡大は，梓川流域以外でも起こるかもしれません．

物理的環境面の制約として特に重要視されているのが，季節的な増水の影響です．ニジマスは，北海道の河川には定着できるのに，本州以南の河川にはどんなに放流しても定着できない，ということは古くから知られてきました（川那部 1980）．Fausch et al.（2001）は，このことを梅雨期の降雨に伴う河川の増水の有無から説明を試みました．つまり，ニジマスは春に産卵し，稚魚は 6 月頃から川の中を泳ぎだすのですが，この頃は，本州ではちょうど梅雨にあたり，長雨で河川も増水し，流れも強いので，遊泳力がまだ弱い稚魚は生き残ることができない，と考えました．また，梅雨のない北海道でも，大雨で河川が増水することはあります．大雨が降ったとき，湧水由来の河川は増水しにくく，そのような河川の方が上記と同じような理由でニジマスは定着しやすいと主張している論文もあります（Inoue et al. 2009）．ただし，河川の増水の有無だけでニジマスの定着の可否を説明できるわけではありません．実際，本州でもニジマスが定着している河川はあります（例：群馬県野反湖の流入河川　中村・丸山 1994；奈良県熊野川水系山上川　加藤・柳川 2000；長野県信濃川水系雑魚川　北野ら 2003；大分県駅館川水系雛戸川　白澤ら 2009）．それらの河川での定着メカニズムについては，別の視点から検討することも必要でしょう．

ブラウントラウトについては，雪解けによる増水の有無が，稚魚の生き残りを通した定着の可否に関係していると考えられています（Kawai et al. 2013）．北海道南西部を流れる石狩川水系千歳川では，ブラウントラウトの産卵は 1 月～2 月の冬季を中心に行われ（長谷川ら 2014），稚魚は雪解け増水の影響がある 5 月頃から川の中を泳ぎだします．Kawai et al.（2013）では，5 月から 6 月にかけて千歳川の支流を調査し，雪解けによる増水の程度が小さい湧水由来の支流では稚魚を確認し，逆に増水の程度が大きい非湧水河川では稚魚が確認できませんでした．これらのことから，Kawai et al.（2013）は，雪解け増水の程度が小さい河川にブラウントラウトは定着しやすいと結論付けました．その理由は，ニジマスと同様だと考えられます．ニジマスとは対照的にブラウントラウトは，2000 年以降，本州各地で新たな定着河川が相次いで見つかっています（例：岐阜県神通川水系小鳥川　石崎ら 2012；山梨県富士川水系金川　坪井　2013；愛知県矢作川水系段戸川　加藤 2015）．侵入のきっかけは，養魚場からの逸出や釣り人による放流など様々ですが，定着できた一因として，稚魚が川の中を泳ぎだす時期がニジマスよりもブラウントラウトの方が早く，梅雨の頃には成長して増水にある程度耐えられるくらい遊泳力がついている，ということがあるのかもしれません．このことについては，今後の研究で明らかにしていく必要があります．

では，次に侵入した水域に生息する他の生物との種間関係が定着にどのようにかかわっているか，みていきましょう．一般に，外来生物が侵入した地域で定着できる条件として，①外来生物の天敵（外来生物を捕食する生物）がいないこと，②種間競争を通じてすでに生息している生物を排除するか（競争排除），逆に③異なる空間や餌を利用することで種間競争が回避されることが挙げられます．これらのうち，外来サケ科魚類の定着については，国内外を問わず，主に②と③の観点から研究が進められてきました．

日本に侵入したニジマス，ブラウントラウトはともに，在来サケ科魚類であるイワナやオショロコマに対しては，種間競争で優位にたち，同じく日本在来のヤマメとは利用する空間が違うために日本の河川に定着できたと考えられています（ただし，ニジマスがヤマメ（アマゴ）を競争排除したことを示唆する事例もあり）．競争排除については，在来種への影響を解説した次章で詳しく述べることとし，③について，ヤマメが生息する河川にブラウントラウトがどのように定着したか，ということについて，著者の研究事例を一つ紹介します（Hasegawa et al. 2012a）．ヤマメとブラウントラウトの稚魚が河川中に泳ぎだす時期や成長に伴う定位点（流れてくる餌を待ち構えるところ）を千歳川支流のママチ川で潜水観察（シュノーケリング）しました．すると，ブラウントラウトは

ヤマメよりもずっと遅く，5 月下旬になってようやく見つけられるようになりました．また，定位点は成長するにつれ，両種ともに，次第に「浅くて流れの緩いところ」から「深くて流れの速いところ」へシフトしていくのですが，ヤマメが「深くて流れが速いところ」にシフトした後に入れ替わるようにブラウントラウトが「浅くて流れが緩いところ」を使うようになることが分かりました．もし，稚魚が川の中を泳ぎだす時期が同じならば，両種稚魚間で定位点を巡る（つまり，空間を巡る）種間競争が強く生じたでしょう．しかし，成長のタイミングの「ずれ」が外来種と在来種の空間の利用の仕方の時間的な「ずれ」を生じさせ，両種稚魚間の種間競争が回避されたことがブラウントラウト定着の一因になったと考えました．ちなみに，同様のパターンは，栃木県中禅寺湖の流入河川でも報告されています（若林ら 2003）．

また，すでに生息している生物との種間関係については，複数の外来種が同じ場所に生息している地域が多々あることを考えると，在来種との関係に注目するだけでなく，別の外来種との種間関係についても目を向ける必要があります．例えば，千歳川水系では，1980 年代頃にブラウントラウトが侵入し，それまで生息していたニジマスの分布域は，2010 年代にはブラウントラウトが侵入できない堰堤の上流側等に狭められました．ニジマスの減少には千歳川沿いの養魚場からの逸出がなくなった（飼育をやめたため）等も影響しているのでしょうけれど，ブラウントラウトがニジマスを競争排除して定着したという一面もあるようです（Hasegawa et al. 2014）．

これまで，物理的環境面と種間関係を分けて考えてきましたが，種間関係の影響は物理的環境によって変わることもあります．千歳川支流紋別川は，ブラウントラウトがイワナを競争排除して定着した典型例です（鷹見ら 2002）．ただし，水温の低い上流側の方が排除のペースは遅いようでした（Hasegawa and Maekawa 2008）．これは低水温の方がブラウントラウトの優位な度合いが小さかったためだと考えられています．

在来種及び在来生態系への影響

ニジマスやブラウントラウトが在来種へ与える影響については，主にサケ科魚類を対象として研究が進んでいます．影響が特に深刻な場合は，その水域に生息するサケ科魚類が在来種から外来種へ置換することがあり，そのような事例は特に北海道で多く報告されています（表１）．

在来サケ科魚類から外来サケ科魚類への置換が

表1．在来サケ科魚類からニジマス・ブラウントラウトへの生息魚種の置換を記した文献の例（置換が起きた全河川を挙げているわけではない）．ここで，置換とは個体数の大小関係が入れ替わることをいう．また，在来種減少の要因として，外来種の他，河川工作物（堰堤など）など他の要因の影響も疑われる事例も含む．

都道府県	河川名	在来種	外来種	文献
北海道	尻別川水系 真狩川支流	オショロコマ	ニジマス	Baxter et al. 2007
北海道	居麻布川	オショロコマ ヤマメ	ニジマス	森田ら 2003
北海道	石狩川水系 空知川支流	オショロコマ イワナ	ニジマス （カワマスも生息）	Kitano et al. 2014
北海道	渚骨川支流	イワナ	ニジマス	吉安 1995
北海道	良瑠石川	ヤマメ	ニジマス	遠藤 2007
北海道	石狩川水系 千歳川支流	イワナ	ブラウントラウト*1	鷹見ら 2002 Hasegawa et al. 2012b
北海道	戸切地川	イワナ	ニジマス ブラウントラウト	森田・森田 2007
大分県	駅館川水系 雛戸川	アマゴ	ニジマス	白澤ら 2009
＜参考＞				
北海道	鳥崎川	ミヤベイワナ*2	ブラウントラウト	著者が2013年に 確認*3

*1 1990 年代以前にはニジマスも広域に分布しており，イワナ減少の要因となった可能性はある．
*2 オショロコマの亜種で天然分布域は然別湖のみ．鳥崎川においては，国内（道内）移入種であるが，もし然別湖にブラウントラウトが侵入した場合，同様の置換現象が起こることは否定できないため，あえて記した．
*3 電気漁具による魚類採集を行ったところ，捕獲数はブラウントラウト 49 個体に対してミヤベイワナは 0 個体であった．

なぜ生じるのか，ということについては海外では 30 年以上も前から，主に種間競争に着目して研究がされてきました（Krueger and May 1991 でそれまでの研究がレビューされています）．一方，日本でこのような置換現象が注目されることは海外ほどにはありませんでした．しかし，北海道石狩川水系千歳川支流紋別川での在来種イワナ（アメマス）から外来種ブラウントラウトへの置換現象を報告した鷹見ら（2002）の論文以降，日本でも外来サケ科魚類が在来種，在来生態系へ与える影響の解明に取り組む研究者が多く見受けられるようになりました．斯く言う著者もその一人であり，種間競争によってイワナからブラウントラウトへの置換が生じるのか，ということについて行動観察実験により検証しました．その結果，イワナもブラウントラウトも淵の底に餌を採るための縄張りを形成し，ブラウントラウトは多少体がイワナより小さくても，縄張りを巡る競争（攻撃行動）に強いということが分かりました（Hasegawa et al. 2004; Hasegawa and Maekawa 2006）．しかも，ブラウントラウトが優位になる種間競争は，劣位であるイワナの種内競争よりも強く生じることが分かりました（Hasegawa and Maekawa 2009）．このようなとき，一般に種間競争に優位な種が，劣位な種を排除します．したがって，イワナからブラウントラウトへの置換の原因として種間競争があることが考えられました．視点を変えれば，ブラウントラウトはイワナを種間競争により排除して定着した，ともいえます．また，イワナはニジマスに対しても，攻撃行動を介した種間競争において劣位であり（Hasegawa et al. 2004），イワナからニジマスへの置換についてもブラウントラウトと同様のことが起きていると考えています．ただし，攻撃行動は，優劣関係の良い指標なのですが，サケ科魚類の競争関係（種内・種間問わず）は縄張りを巡る競争だけではありません．縄張りを巡る競争（干渉型競争という）と対になって考えなくてはいけないのが，餌を巡る競争（消費型競争）です．しかも，この 2 種類の競争は同時に起きていて，どちらの競争が強く生じるか，ということは魚の密度や物理的条件（石や倒木といった障害物あるいは流速など）によって変わります（Hasegawa and Yamamoto 2009, 2010）．欧米では，これらのことについて盛んに研究が行われているのですが，日本では研究事例が圧倒的に不足しているというのが実情です．

その他，置換の原因として考えられているのが交雑，産卵床の掘り返しと捕食です．交雑については，イワナとブラウントラウトの間で確認されています（図 3）．交雑個体は，両種が生息する河川では，少数ながらしばしば発見されます（例：北海道各地；栃木県中禅寺湖の流入河川；山梨県金川）．北海道で捕獲した交雑個体を用いて Kitano et al.（2009）で行った遺伝分析では，すべて母親がイワナ，父親がブラウントラウトでした．このことについて，産卵期を迎えるにあたって，サケ科魚類では一般に先に成熟するのはオスで，ブラウントラウトの方がイワナよりも産卵期が遅いために，ペアになる相手がいなかったブラウントラウトのオスが，イワナのメスとペアになったためと考察しています．また，イワナとブラウントラウトの交雑個体は，うまく発生が進まず稚魚まで残る確率は極めて低いのですが，それでも交雑個体が見つかるということは，かなりの数のイワナの卵がブラウントラウトの精子をかけられ，無駄になっていると推測されます．

また，希少種イトウ *Parahucho perryi* の産卵床をニジマスが掘り返すことも知られています．北海道東部の風蓮川では，3 年間の調査で，約 30% のイトウの産卵床が掘り返されたことが報告されています（Nomoto et al. 2010）．あるいは，上述の千歳川では，1 月から 2 月にかけて産卵するサケがいて，水産資源としても保全生物学的にも，貴重であると指摘されているのですが，ブラウントラウトとサケが同じような場所で産卵していること，実際にサケの卵がブラウントラウトに掘り返されたことが観察されています（長谷川ら 2014）．

ニジマスやブラウントラウトがサケ科をはじめとする在来魚あるいは放流したサケ等の稚魚を捕食しているという記録は多数あります（例：疋田ら 1959；北野ら 1993；真山 1999；三沢ら 2001；杉若 2010；Hasegawa et al. 2012b）．また，川で調査をしていると，「釣ったブラウントラウトの腹を裂いたところ，〇〇を何匹食べていた！」なんて話を釣り人から伺うこともあります．海外では，捕食が在来魚類の減少の大きな要因となっていることもあるので（例：Townsend 1996），日本でももちろん注視すべきですが，ただ単に食べていた，

図 3. 山梨県金川で捕獲したイワナとブラウントラウトの交雑個体（中央）．左はイワナ，右はブラウントラウトの0歳魚．

という観察事例だけでは捕食が在来種の減少を引き起こしているというには科学的な説得力には欠けます．個体群動態（個体数の変動）の理論に基づいた議論が待たれます．

これらの個々の在来サケ科魚類との種間関係を通して，生物群集全体にどのような影響が及んでいるのか，も気になるところです．北海道長万部町を流れる静狩川の一部の流域でブラウントラウトを駆除したところ，サケ科魚類であるヤマメの他，カジカ類やウキゴリ類といった在来魚個体群が回復したという報告があります（北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場 https://www.hro.or.jp/list/fisheries/research/hatch/section/kenkyuu/att/td6oqn0000000lri.pdf）．種間関係の詳細は分かりませんが，このことは，ブラウントラウトの影響がサケ科魚類以外の在来魚にも及んでいたことを示唆する重要な結果です．また，著者は，千歳川支流ママチ川のサケ科魚類以外も含む魚類群集全体にブラウントラウトが与える影響について，種数―面積の関係に基づいて考えてみました（Hasegawa et al. submitted）．一般に，面積が大きくなるほど，ある場所に生息する生物の種数は増えます．ママチ川に設けた 48 の調査区でもそのパターンは見て取れたのですが，種数の増え方は，ブラウントラウトの密度が高くなるほどペースダウンしました．このように，ブラウントラウトの影響を考えるときには，イワナ，ヤマメといったサケ科魚類だけでなく，その川に棲む生物全体に目を向ける必要があるようです．

また，外来種が生物間のつながりに与える影響を調べた興味深い研究があります．北海道苫小牧市を流れる幌内川での野外操作実験や尻別川水系真狩川での野外調査を通じた一連の研究では，ニジマスは，種間競争を通じてオショロコマの食性を落下した陸生昆虫食から水生昆虫食へと変化させ，その結果，特に藻類食の水生昆虫が減ることで藻類の増加や水生昆虫が羽化して空中に飛び出した成虫を狙うクモの数を減少させるといった影響を及ぼすことが示されています（Baxter et al. 2004; 2007）．つまり，ニジマスは在来サケ科魚類オショロコマとの競争を通じて，藻類や昆虫といった他の生物，あるいはそれらの生物間のつながりにまで芋づる式に影響した，と言えます．

ニジマス・ブラウントラウトの管理方針を模索するにあたって

在来の生物や生態系が失われつつある今日，その対策は急務であり，とりわけ外来種対策は最重要課題の一つです．ただ，だからといって外来種を排除すれば全てうまくいくとは限りません．人々の暮らしと関わりが深いサケ科魚類は尚更です．例えば，カワマス（ブルックトラウト）*Salvelinus fontinalis* は，ニジマス・ブラウントラウトと同様，世界的に外来種として問題となっていますが，栃木県中禅寺湖に注ぐ湯川では，移殖放流に携わった偉人の名前をとってグラバー鱒（あるいはパーレット鱒）と呼ばれ，文化的価値が見出されています（福田　1999）．あるいは，ヒメマス *Oncorhynchus nerka* は，日本各地の湖に移殖され外来種として生息しています（山本　2015）．これらの湖の多くは，魚類がほとんど生息しないという特徴的な生態系を形成していましたが，ヒメマスの侵入はその様相を一変させたでしょう（そのことを調べようとした研究事例がないのが不思議です）．しかし，ヒメマスはたいへん美味な魚で，その地域の特産品として重宝されています．したがって，カワマスもヒメマスも，外来種としての生態学的影響に加えて文化的，経済的な価値観も含めて議論しないと管理方針が定まらないのは明らかではないでしょうか．

ニジマスとブラウントラウトの場合は，本稿で述べてきたような外来種としての生態学的影響を懸念する立場と遊漁や養鱒に利用したい立場で対立が生じています．さらに，遊漁者の間でも，ニジマスやブラウントラウトを主なターゲットにルアーやフライで釣るいわゆるスポーツフィッシングの愛好者と在来種であるイワナやヤマメを狙う愛好者が対立し，関係は複雑です．本州の河川の場合は，内水面漁業協同組合（いわゆる漁協）が釣り場の管理をしていることが多いので，ニジマスやブラウントラウトが持ち込まれても対処方針が比較的決まりやすいです（図 4）．一方，北海道の場合は，漁協が遊漁を管理している河川はほとんどありません．そのような現状を憂いたニジマスやブラウントラウト釣りを愛好する地域住民が，ゾーニング（生態系を守る川，遊漁のための川等，目的に応じて河川を使い分ける）の可否を検討したり，種々の対立を解消すべく活動してい

図 4. この川では，ブラウントラウトが発見されてすぐに，漁協が釣り人に無計画な放流を慎むように看板で呼びかけた．

る事例もあります（例：北海道トラウト未来プロジェクト http://h-trout.com/wordpress/）.

近年, ニジマスとブラウントラウトについては, 冒頭で述べたとおり, 環境省が選定を進める侵略的外来種リスト上での扱いが議論の的となっています．あるいは北海道に限っていえば，北海道外来種対策基本方針に基づいてニジマスを指定外来種にすることの是非が議論されてきましたが, 最終的には指定から外れたことについて（北海道環境生活部環境局生物多様性保全課 http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/shiteigairaishu01.htm），賛否が分かれています．新たにニジマス・ブラウントラウトの生息が確認された地域では，上述のように対処方針がスムーズに決まることもある半面，両種を既存の法律では規制できないことが内水面漁業の現場に混乱をもたらすという指摘もあります（田子 2014）．管理方針の大勢を整えるには，このような国，都道府県レベルでの規制は有効でしょう．ただし，リストに掲載された・されなかった，あるいは指定外来種になった・ならなかったで一喜一憂するのではなく，真に求められるのは，ニジマス，ブラウントラウトに対する多様な価値観に基づく主張があるなか，これらの主張をバランスよくまとめ, 社会の調和を保ったうえで彼らを管理していくための議論の舵取りではないでしょうか．その議論の際，客観的評価に基づく生態学的知見は不可欠なものであり, 微力ながら本稿がその一助になればと思います.

引用文献

青山智哉・鷹見達也・下田和孝・小山達也．2002．北海道におけるブラウントラウトの年齢と成長および性成熟．北海道水産孵化場研報，56: 115-123.

Baxter, C.V., Fausch, K.D., Murakami, M., and Chapman, P.L. 2004. Fish invasion restructures stream and forest food webs by interrupting reciprocal prey subsidies. Ecology, 85: 2656-2663.

Baxter, C.V., Fausch, K.D., Murakami, M., and Chapman, P.L. 2007. Invading rainbow trout usurp a terrestrial prey subsidy from native charr and reduce their growth and abundance. Oecologia, 153: 461-470.

遠藤辰典．2007．北海道南西部の良瑠石川におけるニジマスとサクラマスの種間関係．北海道大学大学院水産科学院，修士論文.

Fausch, K.D., Taniguchi, Y., Nakano, S., Grossman, G.D., and Townsend C.R. 2001. Flood disturbance regimes influence rainbow trout invasion success among five Holarctic regions. Ecol. Appl., 11: 1438-1455.

福田和美. 1999. 日光鱒釣紳士物語. 山と渓谷社, 東京．255pp.

長谷川功．2010．サケ科魚類のプロファイル～ブラウントラウト～. SALMON 情報, 4: 27-29.

長谷川功．2013．外来サケ科魚類の生態学～ブラウントラウトの定着要因と在来種及び生物多様性への影響～．日水誌，79: 630-633.

Hasegawa, K., Ishiyama, N., and Kawai, H. 2014. Replacement of nonnative rainbow trout by nonnative brown trout in the Chitose river system, Hokkaido, northern Japan. Aquat. Invasions, 9: 221-226.

Hasegawa, K., and Maekawa, K. 2006. The effects of introduced salmonids on two native stream-dwelling salmonids through interspecific competition. J. Fish Biol., 68: 1123-1132.

Hasegawa, K., and Maekawa, K. 2008. Different longitudinal distribution patterns of native white-spotted charr and nonnative brown trout in Monbetsu stream, Hokkaido, northern Japan. Ecol. Freshw. Fish, 17: 189-192.

Hasegawa, K., and Maekawa, K. 2009. Role of visual barriers on mitigation of interspecific interference competition between native and nonnative salmonids. Can. J. Zool., 87: 781-786.

長谷川功・宮内康行・清水智仁．2014．北海道千歳川で冬季に自然産卵する野生サケの現状. 魚雑，61: 125-127.

Hasegawa, K., and Yamamoto, S. 2009. Effects of competitor density and physical habitat structure on the competitive intensity of territorial white-spotted charr （*Salvelinus leucomaenis*）. J. Fish Biol., 74: 213-219.

Hasegawa, K., and Yamamoto, S. 2010. The effect of flow regime on the occurrence of interference and exploitative competition in salmonid species, white-spotted charr, *Salvelinus leucomaenis*. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 67: 1776-1781.

Hasegawa, K., Yamamoto, T., Murakami, M., and Maekawa, K. 2004. Comparison of competitive ability between native and introduced salmonids: evidence from pairwise contests. Ichthyol. Res., 51: 191-194.

Hasegawa, K., Yamazaki, C., Ohkuma, K., and Ban, M. 2012a. Evidence that an ontogenetic niche shift by native masu salmon facilitates invasion by nonnative brown trout. Biol. Invasions, 14: 2049-2056.

Hasegawa, K., Yamazaki, C., Ohta, T., and Ohkuma, K. 2012b. Food habits of introduced brown trout

and native masu salmon are influenced by seasonal and locational prey availability. Fish. Sci., 78: 1163-1171.

疋田豊彦・亀山四郎・小林明弘・佐藤行孝．1959．西別川に於けるニジマスの生物学的調査　特に害魚の食性に就いて．さけ・ますふ研報，14: 91-121.

Honda, K., Arai, T., Kobayashi, Y., Tsuda, Y., and Miyashita, K. 2012. Migratory patterns of exotic brown trout *Salmo trutta* in south-western Hokkaido, Japan, on the basis of otolith Sr:Ca ratios and acoustic telemetry. J. Fish Biol., 80: 408-426.

Inoue, M., Miyata, H., Tange, Y., and Taniguchi, Y. 2009. Rainbow trout （*Oncorhynchus mykiss*） invasion in Hokkaido streams, northern Japan, in relation to flow variability and biotic interactions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 66: 1423-1434.

石崎大介・谷口義則・淀　大我．2012．岐阜県神通川水系小鳥川におけるブラウントラウトの定着．魚雑，59: 49-54.

加藤大貴．2015．愛知県の河川における外来魚ブラウントラウトと在来魚類の関係．名城大学理工学部環境創造学科，卒業論文.

加藤憲司・柳川利夫．2000．熊野川水系上流部，山上川におけるニジマスの自然繁殖個体群．水産増殖，48: 603-608.

Kawai, H., Ishiyama, N., Hasegawa, K., and Nakamura, F. 2013. The relationship between the snowmelt flood and the establishment of non-native brown trout （*Salmo trutta*） in streams of the Chitose River, Hokkaido, northern Japan. Ecol. Freshw. Fish, 22: 645-653.

川那部浩哉．1980．ニジマス－放流すれども定着せず．日本の淡水生物（川合禎次・川那部浩哉・水野信彦編），東海大学出版会，東京．pp. 44-48.

Kitano, S., Hasegawa, K., and Maekawa, K. 2009. Evidence for interspecific hybridization between native white-spotted charr and nonnative brown trout on Hokkaido Island, Japan. J. Fish Biol., 74: 467-473.

北野聡・逸見泰明・柳生将之・美馬純一．2013．松本市梓川幹線水路で増加するブラウントラウト *Salmo trutta*．長野県環境保全研究所研究報告，9: 67-70.

北野聡・河合吉図・井田秀行．2003．雑魚川減流域におけるニジマスとイワナの生態的特徴．信州大学教育学部附属志賀自然教育研究施設研究業績．40: 9-13.

北野聡・中野繁・井上幹生・下田和孝・山本祥一郎．1993．北海道幌内川において自然繁殖したニジマスの採餌および繁殖行動．日水誌，59: 1837-1843.

Kitano, S., Ohdachi, S., Koizumi, I., and Hasegawa, K. 2014. Hybridization between native white-spotted charr and nonnative brook trout in the upper Sorachi River, Hokkaido, Japan. Ichthyol. Res., 61: 1-8.

Krueger, C.C., and May, B. 1991. Ecological and genetic effects of salmonid introductions in North America. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 48 （suppl 1）: 66-77.

Lowe, S., Browne, M., Boudjelas, S., and De Poorter, M. 2000. 100 of the world's worst invasive alien species. Invasive Species Specialist Group of the World Conservation Union, Auckland

真山紘．1999．千歳川におけるサクラマス幼魚およびブラウントラウトによる浮上期サクラマス稚魚の捕食．さけ・ます資源管理センター研究報告，2: 21-27.

三沢勝也・菊池基弘・野澤博幸・帰山雅秀．2001．外来種ニジマスとブラウントラウトが支笏湖水系の生態系と在来種に及ぼす影響．国立環境研究所研究報告，167: 125-132.

森田健太郎・岸　大弼・坪井潤一・森田晶子・新井崇臣．2003．北海道知床半島の小河川に生息するニジマスとブラウンマス．知床博物館研究報告，24: 17-26.

森田健太郎・森田晶子．2007．イワナ（サケ科魚類）の生活史二型と個体群過程．日本生態学会誌，57: 13-24.

中村智幸・丸山　隆．1994．群馬県野反湖におけるニジマス，*Oncorhynchus mykiss* の自然産卵．水産増殖，42: 7-13.

Nomoto, K., Omiya, H., Sugimoto, T., Akiba, K., Edo, K., and Higashi, S. 2010. Potential negative impacts of introduced rainbow trout on endangered Sakhalin taimen through redd disturbance in an agricultural stream, eastern Hokkaido. Ecol. Freshw. Fish, 19: 116-126.

白澤聡一郎・近藤卓哉・永田新悟・高橋　洋・木本圭輔・景平真明・竹下直彦．2009．駅館川水系雛戸川におけるニジマスとアマゴの成長．水産増殖，57: 654.（日本水産増殖学会第８回大会講演要旨集）

杉若圭一．2010．No. 673 ブラウントラウトの魚食性．「試験研究は今」地方独立行政法人北海道立総合研究機構水産研究本部，北海道余市町．URL: http://www.fishexp.hro.or.jp/cont/marine/o7u1kr000000288d.html,（参照 2015-11-02）

鈴木俊哉．2004．サケ科魚類のプロファイル～ニジマス～．さけ・ます資源管理センターニュース, 12: 9-10.

田子泰彦．2014．神通川中下流域へのブラウント

ラウトの出現．富水研だより，12: 3.
鷹見達也・吉原拓志・宮腰靖之・桑原　連. 2002. 北海道千歳川支流におけるアメマスから移入種ブラウントラウトへの置き換わり．日水誌，68: 24-28.
Townsend, C. 1996. Invasion biology and ecological impacts of brown trout *Salmo trutta* in New Zealand. Biol. Conserv., 78: 13-22.
坪井潤一．2013．金川でブラウントラウトの駆除が始まりました. 山梨県水産技術センター便り，55: 4-5.
若林　輝・中村智幸・久保田仁志・丸山　隆. 2003. 中禅寺湖流入河川に生息するサケ科魚類2種の当歳魚の生息環境．魚雑, 50: 123-130.
山本祥一郎．2015．ヒメマスー複雑な移殖の歴史をもつ水産重要種．魚雑，62: 195-198.
吉安克彦．1995．巨大オショロコマが遡る道北の秘境ー最果ての渚滑川ー．岩魚草紙，朔風社，東京．pp. 48-56.

資料. 日本の在来サケ科魚類
（左上写真）イワナ（撮影地：岐阜県神通川水系）.
（右上写真）オショロコマ（撮影地：北海道尻別川水系）. ちなみに，下はブラウントラウト. この2種はしばしば見間違えられる.
（左下写真）ヤマメ（撮影地：北海道尻別川水系）.
（右下写真）イトウ（産卵行動中のペア）（撮影地：北海道内某所）.

技術情報

サケの母川回帰精度について

福澤　博明（北海道区水産研究所　さけます資源部）

はじめに

水産総合研究センター北海道区水産研究所（以下，北水研）では，農林水産大臣の定めた放流計画に基づき，個体群維持を目的としたさけますのふ化放流を行っています．放流する稚魚の全てに耳石温度標識をつけており，放流後の稚魚の追跡調査やベーリング海など回遊海域における分布の状況，親魚の回帰状況を調べることなどによって，我が国のさけます類の適正な資源管理と来遊の安定化を図るために様々な調査を行っています．

耳石温度標識とは，卵や稚魚の発育の途中に用水の温度を規則的に変えることによって耳石にバーコード状の特異的な模様をつける標識手法です（浦和 2001）．北水研では，1998 年からこの技術の導入を始め，2005 年には北水研の事業所から放流される全ての稚魚の耳石に特有の模様が付けられるようになりました．以前は放流効果などを調査するための稚魚の標識には，鰭切除が多く用いられていましたが，百万尾単位で放流される稚魚のうちのほんの一部にしか付けることができなかったり，標識パターンが少ないなどの欠点がありました．耳石温度標識は数百万尾の魚に同一の標識を付けることができ，標識パターンも鰭切除に比べるとはるかに多いため，耳石温度標識魚を再捕することによって新たな知見が得られてきました．今回は，放流河川とは異なる河川への親魚の迷い込みについて紹介し，サケの母川回帰精度について考えてみます．

さけます類の母川回帰性

日本では，川で生まれ，海へ降りて成長し，産卵のために川を遡上するさけます類の主なものはサケ，カラフトマス，サクラマスですが，これらは昔から生まれた川あるいは放流された川である「母川」へ遡上して産卵すると考えられてきました．それは，稚魚に標識をつけて放流すると，ほとんどが母川へ遡上すること（白旗 1976），それまで親魚の遡上がなかった河川へ稚魚を放流すると，数年後には多くの遡上が見られること（北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会 1988）などが裏付けになっています．さけます類の稚魚の放流効果を判定する際の指標として河川回帰率（＝母川における回帰親魚数（捕獲数）÷放流数）が用いられていますが，これは，ほとんどの魚が母川に回帰遡上することが前提となっています．

最近の母川回帰性に関する国内の研究では，カラフトマスは標識魚が放流河川とは異なる河川に迷い込む（迷入）割合が高く，サケと比べて母川へ回帰する能力が低いこと（虎尾 2009; 藤原 2011），サクラマスは同一水系内の支流を区別して母川回帰すること（宮腰ら 2012）などが報告されています．サケでは，これまで多くの標識放流試験が実施されてきましたが，その試験の回帰調査の対象河川が放流された母川となること，実際に母川以外で標識魚が発見されることが少ないことから，国内では迷入に関する報告はほとんどありません．また，標識を付けられたサケ放流群の母川選択率あるいは迷入率を算出するには，数多くの河川を調査しなければならないために取り組みにくいのが実情です．

耳石温度標識魚の回帰調査

北水研では，10 河川 10 事業所から合計 1 億 3 千万尾のサケ稚魚に耳石温度標識を付けて放流し，各河川において遡上親魚の年齢や標識パターンを調べて，放流群毎の回帰率の比較を行っています（図 1）．具体的には，遡上期間中に捕獲される親魚を旬毎に無作為に 100 尾程度抽出し，鱗から年齢を調べるとともに耳石に付けられた標識パターンを識別して，抽出数に占める標識魚の割合を算出し，その放流群毎の捕獲数を推定します．各

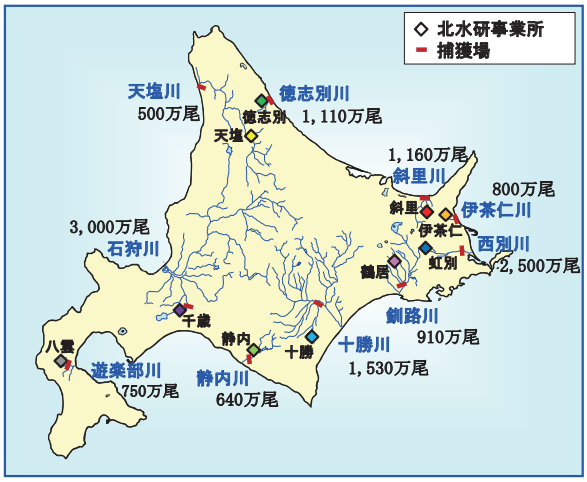

図 1. 北水研のサケ放流河川と放流数（2005–2014 年度計画数）．各河川の捕獲場において回帰調査を実施．

河川での捕獲にはウライと呼ばれる川幅を仕切る柵状の仕掛けが用いられ，増水がなければほとんどのサケ親魚を捕獲できるため，捕獲数は遡上数に近い値であり，これを回帰数とします．無作為に抽出した魚の耳石を調べるので，中にはバーコード状の標識が付いていない「無標識魚」や別の河川で放流された標識パターンが付いた「迷入魚」も発見されます．無標識魚の由来は，北水研から放流されたものではないことは明らかですが，自然産卵によって生まれた魚なのか，他の増殖団体による放流魚なのか，あるいは，その川で生まれた魚かさえもわかりません．

サケの迷入実態

2009～2014 年に 10 河川で捕獲されたサケ親魚のうち，57,238 尾の耳石を調べた結果，放流された河川とは異なる河川へ迷入した耳石温度標識魚の数は，雌 43 尾，雄 52 尾の合計 95 尾でした．何処の事業所から放流された魚が何処の川へ迷入したかを回帰年別に示すと図2のようになります．

迷入数は非常に少なく，毎年必ず見られたり，ある回帰年に特に多くなるというような際立った傾向はみられませんが，敢えて特徴を挙げるとすれば，次のようなことが言えそうです．

- 斜里及び虹別放流魚が数多く，広範囲に迷入している．
- 根室海区及びえりも以東海区の河川への迷入例が多い．
- 日本海区産，えりも以西海区産の迷入例は少ない．
- 同一海区内で河口間の距離が小さい，伊茶仁川－西別川（37 km），釧路川－十勝川（66 km）の間の相互迷入魚は多くない．
- 河口から捕獲場までの距離が迷入の多寡に必ずしも影響しない

河口間の距離と迷入数の関係を図3に示しました．200 km を超えると，迷入魚がほとんどなくなるので，距離が近いほど迷入数が多くなる傾向に見えますが，200 km 以内に限ると，距離が近いほど迷入数が多くなるとはいえないようです．

徳志別川では，捕獲場が河口から 0.6 km に位

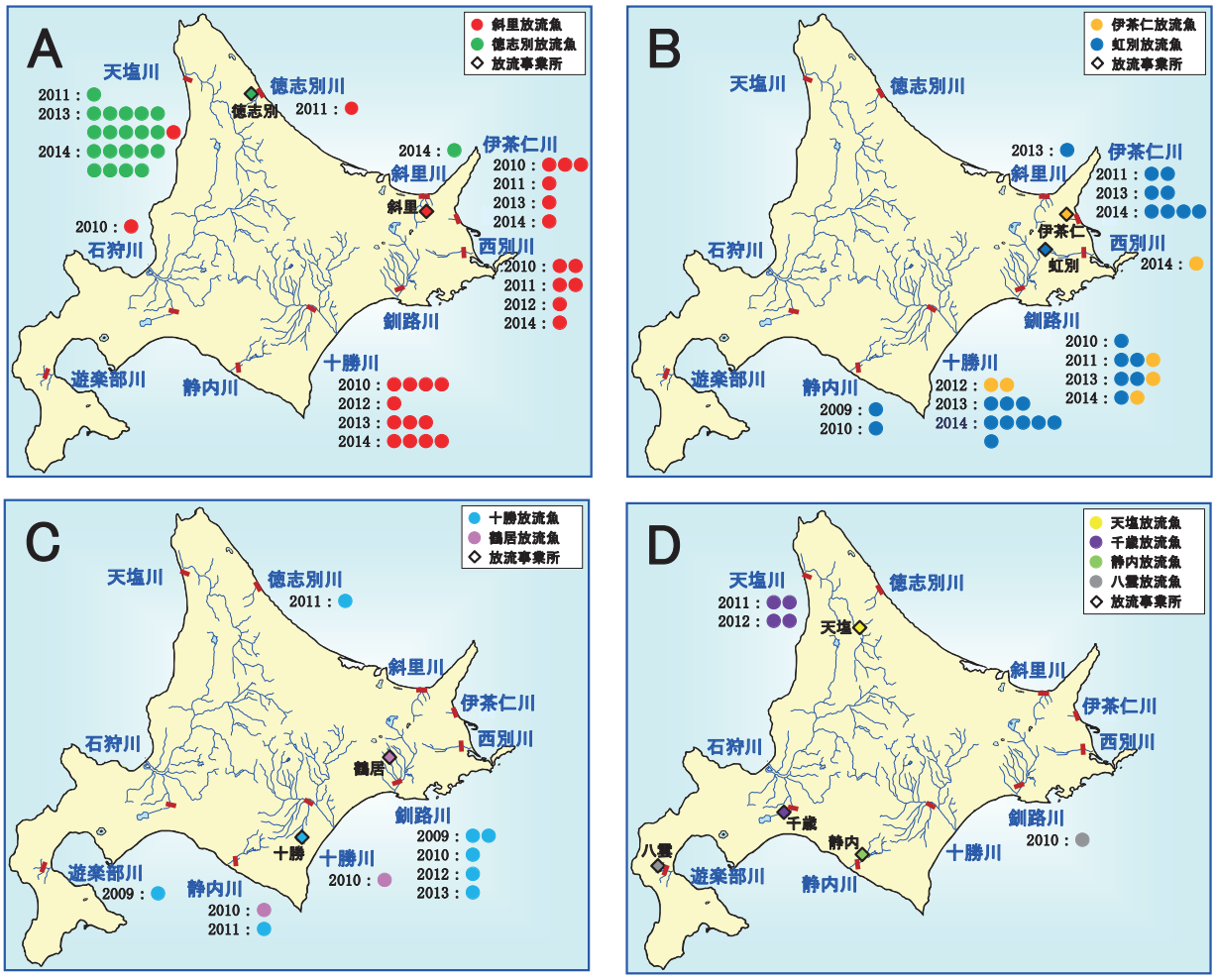

図 2. 耳石温度標識サケの迷入数（2009–2014 回帰年別）．
（A）オホーツク海区産（斜里・徳志別事業所）の他河川への迷入，（B）根室海区産（伊茶仁・虹別事業所）の他河川への迷入，（C）えりも以東海区産（鶴居・十勝事業所）の他河川への迷入，（D）日本海区産（天塩・千歳事業所）及びえりも以西海区産（静内・八雲事業所）の他河川への迷入．

置するため，他の河川で生まれた魚が，川を遡上しないまでも河口近くをウロウロする間に捕獲されることが想像され，迷入魚は多いのではないかと考えていましたが，6 年間で 2 尾しか発見されませんでした．一方，十勝川では，捕獲場は支流の猿別川にあり，河口から 40km も離れていますが，比較的多くの迷入魚が発見されています．

遡上時期による迷入の数は，後半にやや多く見られましたが（図 4），11 月下旬から 12 月上旬の多さは，2013 年と 2014 年に回帰した斜里放流の迷入魚がこの時期に多く（9 尾）発見されたことによるものです．

迷入魚 95 尾の年齢構成は 3 年魚 13%，4 年魚 55%，5 年魚 27%，6 年魚 3%，7 年魚 2%でした．20 尾以上が迷入した斜里，虹別，徳志別放流魚の年齢構成は，各河川の通常の割合と比べ，斜里，虹別では 3，4 年魚が多く，徳志別では 5 年魚以上が多い傾向があり，若齢魚ほど迷入しやすいというようなことは一概には言えないようです．

河川毎の迷入魚遡上率の推定

実際に発見された迷入魚の標本数は少ないものの，抽出数に占める標識魚の割合から，調査河川毎に，捕獲された親魚数に占める北水研の放流魚の迷入数とその割合を推定してみました（表 1）．2009～2014 年に北水研放流河川に他河川由来の耳石温度標識魚が迷入した数は 2,153 尾，その割合は 0.03%と推定されました．2014 年までに回帰した魚には，本州のふ化場から放流された耳石温度標識魚もいますが，北水研の調査河川においては未だ発見されていません．近年の北海道全体の放流数は毎年 10 億 4 千万尾程度であり，北水研の放流数 1 億 3 千万尾はその 12.5%です．北水研以外の放流魚も同様な割合で迷入するとすれば，北水研放流河川における迷入魚の遡上率は 0.24（0.0003÷0.125＝0.0024）%と見積もられ，最も高い天塩川でも 2.24%となります．一般的に，さけます類の「迷入率」と言うと，ある川で生まれた魚が回帰した際の全遡上数に占める母川以外への遡上数の割合なので，それとは区別する表現にしました．

おわりに

大量放流した耳石温度標識魚の他河川への迷入の実態から，サケの母川回帰精度が極めて高いことが示唆されました．今回推定した迷入魚の遡上率は，北水研放流河川間の迷入データによるものなので，さらに河口間距離が近い場合や他河川由来の野生魚の迷入についても検討の必要があるかもしれません．坂野（1960）は，北海道の常呂

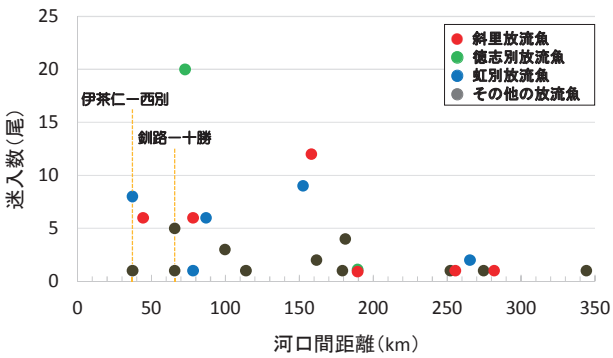

図 3. 放流河川と遡上河川の河口間距離と迷入数の関係．

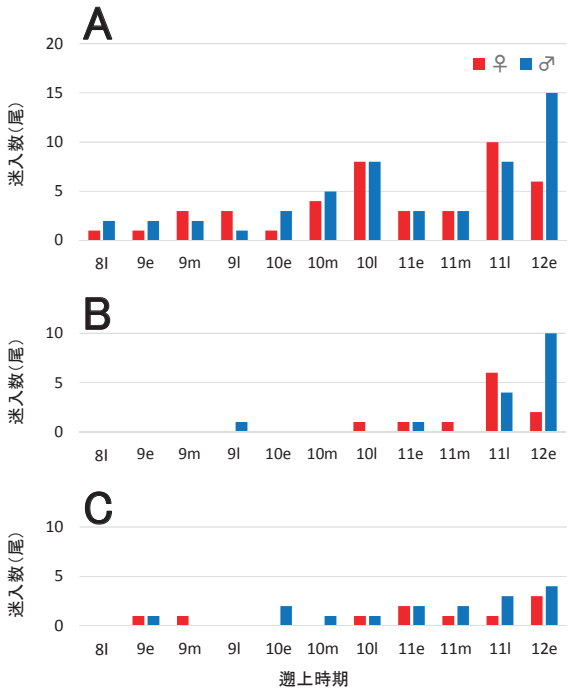

図 4. 遡上時期別の迷入数．(A)全迷入魚．(B)斜里放流の迷入魚．(C)虹別放流の迷入魚．9e は 9 月上旬，9m は 9 月中旬，9l は 9 月下旬を示す．

表 1. 北水研放流河川におけるサケ耳石温度標識魚の迷入数（2009-2014）．調査河川の（ ）内は調査捕獲場が支流にある場合の支流名．

調査河川	調査尾数 尾	迷入標本数 尾	推定迷入数 尾	捕獲数に占める割合（範囲） %	河口～捕獲場距離 km
斜里	6,212	2	48	0.00 （ 0.00 ～ 0.01 ）	1
徳志別	5,726	2	43	0.00 （ 0.00 ～ 0.05 ）	0.6
天塩	3,728	25	865	0.28 （ 0.00 ～ 0.70 ）	5
石狩（千歳）	7,495	1	38	0.00 （ 0.00 ～ 0.03 ）	79
伊茶仁	5,334	14	107	0.26 （ 0.00 ～ 0.70 ）	0.2
西別	5,888	7	128	0.04 （ 0.00 ～ 0.18 ）	13
釧路（雪裡）	5,323	15	340	0.16 （ 0.06 ～ 0.27 ）	7
十勝（猿別）	6,539	24	348	0.03 （ 0.00 ～ 0.09 ）	40
静内（豊畑）	5,007	4	209	0.07 （ 0.00 ～ 0.34 ）	8
遊楽部	5,986	1	26	0.01 （ 0.00 ～ 0.07 ）	7
合計	57,238	95	2,153	0.03 （ 0.01 ～ 0.06 ）	

川から鰭切除して標識放流した魚を近隣河川で発見していますが，河口間距離が近いほど迷入が多くなる傾向はみられませんでした．また，支流単位の迷入については，石狩川の支流豊平川へ遡上した千歳放流魚は 0.6%しか含まれなかったという報告（有賀ら 2014）や，山形県の月光川水系内の3つの支流にあるふ化場から標識放流したところ，わずか数kmしか離れていない支流を識別して母川支流を中心に回帰した事例（飯田　投稿準備中）もあり，やはりサケの母川選択精度の高さがうかがわれます．

耳石温度標識パターンの識別には，高度な技術を要することから，パターンを誤認する危険性があります．他河川放流由来の標識魚が発見された場合には，確認作業はより慎重に行われますが，その河川で放流された標識魚と判定されたものの中には，誤認されたものが含まれる可能性があるので，迷入魚はもう少し多いかもしれません．耳石温度標識魚の迷入に関するデータはまだ少ないので，これからも継続してデータを蓄積していくことで，新たな知見が得られることが期待されます．

最後に，本調査にご協力いただきました，さけます増殖団体の皆様に感謝するとともに，引き続きご協力いただきますよう，お願い申し上げます．

引用文献

有賀　望，森田健太郎、鈴木俊哉，佐藤信洋，岡本康寿，大熊一正．2014．大都市を流れる豊平川におけるサケ *Oncorhynchus keta* 野生個体群の存続可能性の評価．日水誌，80（6），946-955

藤原　真．2011．カラフトマスの放流効果は？北水試だより，82：17-19

北海道さけ・ますふ化放流事業百年史編さん委員会．1988．北海道さけ・ますふ化放流事業百年史．北海道さけ・ますふ化放流百年記念事業協賛会，札幌．1260pp

宮腰靖之，高橋昌也，大熊一正，卜部浩一，下田和孝，川村洋司．2012．標識魚の遡上状況からみた北海道尻別川水系内でのサクラマスの母川回帰．北水試研報，81：125-129

坂野栄市．1960．北海道に於ける鮭稚魚の標識放流試験　昭和 26 年～34 年．さけ・ますふ研報，15：17-38

白旗総一郎．1976．増殖研究を通じてみたサケ・マスの生物特性．さかな，17：26-34

虎尾　充．2009．カラフトマスは生まれた川に戻ってくるのか？試験研究は今，636：1-3

浦和茂彦．2001．さけ・ます類の耳石標識：技術と応用．さけ・ます資源管理センターニュース，7：3-11．

技術情報

耳石温度標識パターン数の増加に向けた取り組み

宮内（みやうち） 康行（やすゆき）（北海道区水産研究所 天塩さけます事業所）

はじめに

さけます類の幼稚魚の分布場所や親魚での回帰効果を調査する方法として，従来は鰭切り標識やリボンタグなどの外部標識が主流でしたが，1999 年にさけ・ます資源管理センター千歳事業所（現北海道区水産研究所千歳さけます事業所）から初めて「耳石温度標識（図 1）」のついたサケ稚魚が放流されました（川名 1999）．この手法は卵期の発眼からふ化するまでの間に 12 もしくは 24 時間間隔を基本とする 4℃差の水温変化を与えて，耳石にバーコード状の明瞭なリング模様をつけるものです（浦和 2001）．鰭切り標識やリボンタグの装着は手作業によるため，ふ化場から放流するほんの一部にしか標識をつけることができませんでしたが，耳石温度標識は卵管理を行う水槽毎に標識可能であることから，数百万尾単位の大量に標識した稚魚を放流できるようになりました．

耳石温度標識の導入以降，徐々にその標識尾数は増え，現在では北海道区水産研究所の各さけます事業所から放流される幼稚魚には全数，その他にも水産庁委託事業等による放流稚魚に標識がつけられ，様々な調査に利用されるようになっています．2014 年の春には 68 種類の耳石標識パターンをつけたサケ稚魚が日本各地のふ化場から放流されました．しかし，その数が増えるに従い，耳石温度標識のパターンが不足するようになってきました．これは発眼からふ化するまでの約 2 週間の間に 12 もしくは 24 時間間隔の水温変化を与えるので付けられる標識パターンには限界があるためです．そこで，水温変化を与える間隔をこれまでの最短の 12 時間からさらに短縮し，標識パターンを増加させる取り組みを行いましたので，その概要を報告します．

サケへの導入

まず，耳石標識パターンが慢性的に不足している「サケ」での取り組みを行いました．卵管理時期のふ化用水の温度が約 8℃の千歳さけます事業所において，2012 年秋に石狩川水系千歳川へ遡上した親魚から採卵授精させた卵を用いて試験を行いました．試験には 1 群あたり約 1,000 粒の卵をネットに入れ，ボックス型ふ化器に収容して積算温度 320℃から標識を開始し，標識の前後には

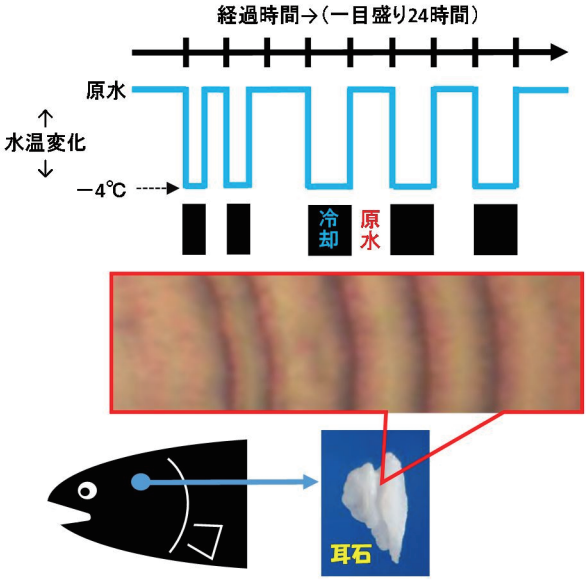

図 1. 耳石温度標識．水温変化を与えると，頭部にある「耳石」にバーコード状の模様がつく（赤枠）．原水から水温を下げる（−4℃）と黒いリング，原水に戻すと空白部分が形成される．

48 時間の安息期間（原水での管理）を設けました．試験では標識期間中の冷却時間をこれまでの 12 時間よりも短くしたいくつかの試験区を設定し，標識リングとして識別可能な最短時間を検討しました．次に標識リング間の空白部分を形成する通常水温（以下，原水温）での管理時間も検討しました．いずれも冷却を 4 回繰り返し，4 本リングの標識を試みました．そして，浮上した稚魚の耳石を取り出し，標識リングが識別可能か評価しました．その結果，冷却時間は 3 時間まで短縮しても耳石標識リングとして識別可能であることがわかりました．そして，冷却 3 時間の後，8 時間以上原水温で管理すれば，リング間に識別可能な空白が形成されることがわかりました．実用上は 3 時間の冷却に原水温の管理時間を 9 時間にして組み合わせ，合計 12 時間とすることにより，従来より使用していた半日（12 時間）～1 日（24 時間）の標識間隔と組み合わせがしやすく適当と判断されました（図 2，3）．以降はこの 3 時間の冷却と 9 時間の原水温の組合せを「短縮標識」と表記します．

これまでの耳石温度標識は 1 本のリングを識別するために最短で 24 時間（12 時間の冷却と 12

時間の原水温）が必要でしたが，短縮標識の間隔を導入することで同じ 24 時間でも 2 本の細いリングが標識可能になりました．このことは標識期間の短縮にもつながり，各種作業のスケジュールに余裕ができます．なお，このサケでの取り組みの詳細は「水産技術第 7 巻 2 号」に掲載しておりますのでそちらを参照願います．

高水温ふ化場等への導入と事業規模での試験

管理水温 8℃のふ化場（千歳さけます事業所）では「短縮標識」の導入の可能性があることがわかりました．しかし，ふ化場によっては管理水温 10℃以上の場所も多くあります．水温の高いふ化場では卵期の成長は早くなり，これに従い耳石温度標識可能期間も短くなり，使える耳石標識パターンは短いものに限られてしまうという問題があります．そこで，より管理水温の高いふ化場でも導入可能かを検討しました．短縮標識の間隔で 2 本+1 本+4 本リングの標識パターンを設定し，管理水温 11～12℃の比較的高めの静内および天塩さけます事業所で標識を行いました．これに加えて管理水温 7.5℃の比較的低めの八雲さけます事業所でも同様の標識を行いました．また，対照区として千歳さけます事業所においても同様の標識を行いました．標識にはそれぞれの河川に遡上した親魚から採卵授精させた卵を用いました．その結果，いずれの事業所においても浮上稚魚で標識リングを鮮明に確認することができました(図4)．

これまでの取り組みは試験レベルの極小規模なものだったので，次に実際の放流規模で短縮標識に取り組みました．2013 年秋に千歳さけます事業所に収容したサケの卵 6,500 千粒を対象に短縮標識を行いました．この取り組みでは細い短縮標識リングを見落としするのを防ぐため，従来の 12 時間間隔の太い標識リングと組み合わせて実施しました．従来の 12 時間間隔の 2 本リングと 3 本リングの間に短縮標識の 2 本，4 本および 6 本リングを入れた 3 種類の標識パターンです（図5）．そして短縮標識のついたサケ稚魚 5,686 千尾を 2014 年 3 月上旬から 4 月上旬に石狩川支流千歳川へ放流しました．放流後の稚魚は石狩川河口に近い厚田沿岸の幼稚魚採集調査で採集されており，短縮標識が確認できていますので，沿岸での追跡も可能です．また，この放流群は 2016 年秋には 3 年魚の親魚として回帰します．親魚でも短縮標識が問題無く確認できることを期待しているところです．

サクラマスおよびカラフトマスへの導入

短縮標識は前述した取り組みからサケでは導入

図 2. 従来の 12 時間間隔の耳石温度標識で 4 本リングをつけるのに必要な時間（上）と 3 時間冷却と 9 時間加温の組合せの 4 本リングをつけるに必要な時間（下）．数字は時間を示す．

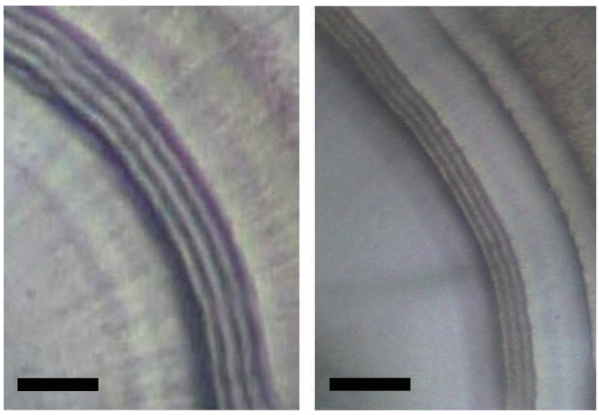

図 3. 従来の 12 時間間隔の 4 本リング（左）と 3 時間冷却と 9 時間加温の組合せの 4 本リング（右）．バーは 10μm を示し，標識リング間距離は従来よりも約 60% 短くなった．

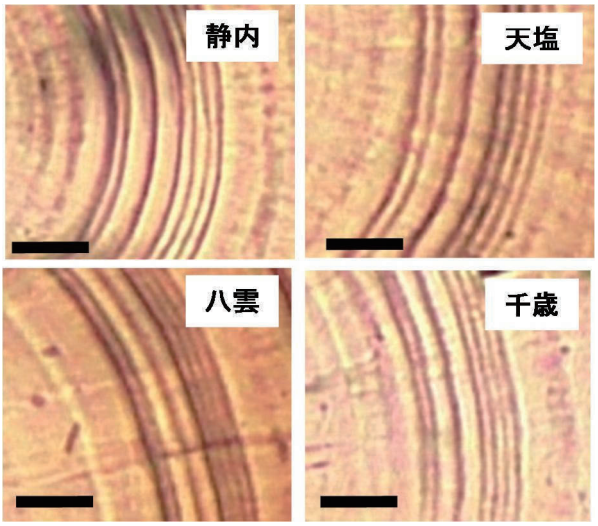

図 4. さけます事業所 4 ヶ所での短縮標識写真．バーは 10μm を示す．

可能であることがわかりました．この取り組みを進める中で他のさけます類でも短縮標識が導入可能かという疑問が出てきましたので，サクラマスおよびカラフトマスでもサケと同様な取り組みを行いました．

まず，サクラマスについては，尻別川および徳志別川で採卵した卵を用いて，3 時間冷却を基本とした5本リングの短縮標識の試験を行いました．その結果，2 河川ともほぼ全てが標識リングとして確認できました（図 6）．サクラマスはふ化するまでの期間がサケよりも短く，耳石温度標識可能期間が短いという弱点があるため，短縮標識の利用は有効と考えられます．

次にカラフトマスでの取り組みは徳志別川で採卵した卵を用いて，2 本+3 本リングの短縮標識の試験を行いました．しかし，標識リングを確認できたものは皆無でした．同採卵日の徳志別さけます事業所で標識している従来の 24 時間間隔の標識リングは鮮明に標識されていることから(図7)，カラフトマスでは3時間の冷却が標識リングを付けるのに十分な時間で無いことが考えられました．河川でのカラフトマスの産卵場所は比較的下流の冷水が浸透する場所であり（眞山 2004），水温の安定した湧水が出る場所を好むサケとは異なります．このような生態的特徴を考えると，カラフトマスの耳石へ短縮標識をつけるためのストレスとしては3時間の冷却時間は弱いのかもしれません．カラフトマスへ短縮標識を導入するにはさらなる冷却時間を検討する必要があります．

おわりに

一連の取り組みから，短縮標識の導入は標識リングが細くなるものの，サケとサクラマスについては標識パターン数の増加と期間の短縮につなげることができました．すでにこの短縮標識は北海道の千歳さけます事業所において先行して導入していることに加え，本州の管理水温の高いふ化場（富山県庄川ふ化場他）でも優先的に導入を進めており，放流手法の回帰効果を確認する調査などに利用されております．サクラマスについても資源が減少傾向にある地域もあり，耳石温度標識を利用した調査において短縮標識の活用が期待されます．

ただし，短縮標識の導入はメリットばかりではありません．これまでも耳石温度標識に係わる解析作業は非常に精細なものでした．数種類の研磨紙を使い，耳石を標識リングが見えるまで注意深く少しずつ研磨し，光学顕微鏡で観察を行うという作業です．今回，取り組んだ短縮標識は標識リングの幅が従来よりもさらに微細になっており，今まで以上に精密な耳石の研磨が必要となります．耳石温度標識調査の導入を検討される場合には，事前に当センターの担当へご相談ください．

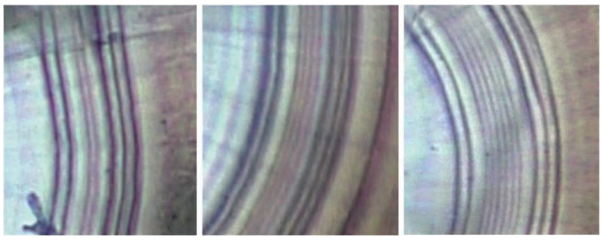

図 5. 2013 年級群に千歳さけます事業所から放流した短縮標識（最初の 2 本と最後の 3 本が従来の 12 時間間隔，その間の 2 本（左），4 本（中），6 本（右）が短縮標識）．

図 6. 徳志別川のサクラマス卵で試験した 5 本リングの短縮標識写真（3 時間の冷却と 9 時間の原水管理を 5 回繰り返した）．

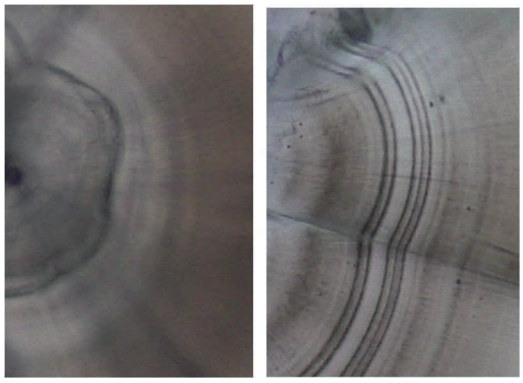

図 7. カラフトマスで試験した短縮標識写真（左）と従来の 24 時間間隔の 2 本＋3 本リングの標識写真（右）．

参考文献

川名守彦．1999．耳石大量標識に関する先進地調査．さけ･ます資源管理センターニュース, 3: 13.

眞山　紘．2004．さけ・ます類の河川遡上生態と魚道．さけ･ます資源管理センターニュース, 13: 1-7.

宮内康行・江田幸玄・平間美信・岡本康孝・大貫努．2015．サケの耳石温度標識パターンを増やすための標識時間の短縮.水産技術, 7: 89-95.

浦和茂彦．2001．さけ・ます類の耳石標識：技術と応用．さけ･ます資源管理センターニュース, 7: 3-11.

会議報告

さけます関係研究開発等推進会議

伊藤（いとう） 二美男（ふみお）（北海道区水産研究所 業務支援課）

はじめに

平成 27 年 7 月 30 日に札幌市で，「平成 27 年度さけます関係研究開発等推進会議」を開催しました．本推進会議は，さけます類に関する研究開発や個体群維持のためのふ化放流について，関係する行政・試験研究機関及び増殖団体等との情報交換を密に連携強化を図り，さけます類に関する総合的な研究開発等を効率的かつ効果的に推進することを目的に設置したもので，研究開発の計画・成果に関する情報交換と連携研究の可能性等を検討する「研究部会」と，研究開発等の成果普及・情報交換とニーズの把握を行う「成果普及部会」で構成されています．

写真 1.「研究部会」会議全景.

研究部会

9 時 30 分から水産庁，10 道県の試験研究機関，水産総合研究センター本部と 4 研究所および 6 道県の水産行政部局，3 大学の 26 機関 71 名参加の下で「研究部会」を開催しました．北海道区水産研究所谷津所長の挨拶の後，議事に入りました．

写真 2.「研究部会」の座長を務めた永澤さけます資源部長.

・各機関の研究開発の実施状況等

はじめに，各道県の試験研究機関および水産総合研究センターの平成27年度のさけます関連研究開発課題の一覧表に沿って，各試験研究機関から新規課題を中心に調査研究計画の概要が紹介されました．各大学からも研究計画の概要が紹介されました．

次に，研究成果のトピックスとして，山形県水産試験場から「小型定置網に入網したサクラマス幼魚の生存状況」が紹介されました．

また，各試験研究機関が行った平成 26 年度の標識放流結果と平成 27 年度の標識放流計画および，モニタリングデータを記録したＣＤを配布し，情報の共有を図りました．

・サクラマス分科会の概要報告

前日に開催されたサクラマス分科会の概要が報告され，平成26年度の環境研究総合推進費（環境省）への応募は不採択となりましたが，今後も外部資金の獲得を模索すること，資源評価を行うためのモニタリング体制の構築に向けた取り組みを継続して行くことなどが確認されました．

・成果普及部会の改正について

一般の希望者も参加しやすくするために「さけます関係研究開発等推進会議」の「成果普及部会」を推進会議から独立させた「さけます成果普及報告会（仮称）」としたい旨を提案し，了承されました．

・その他

北海道区水産研究所から，平成 27 年 5 月に神戸で開催された NPAFC（北太平洋溯河性魚類委員会）シンポジウムの概要を紹介しました．

水産庁から，平成 27 年度より開始される高品質サケ（ブランド鮭）のサンプル収集等に関する主旨説明と協力依頼がなされました．

成果普及部会

14 時からは関係道県の増殖団体，漁業団体等が加わり，77 機関 231 名参加の下で「成果普及部会」を開催しました．北海道区水産研究所谷津所長の挨拶，来賓を代表して水産庁増殖推進部栽培養殖課平間栽培養殖専門官の挨拶後，議事に入りました．

・成果情報等の趣旨説明

北海道区水産研究所の大熊繁殖保全グループ長から，「野生資源と持続可能なさけます漁業と増殖事業」と題して，講演と成果情報 4 題の発表を行う主旨と，野生魚と放流魚の定義を事前に説明しました．

・講演：ふ化放流魚と野生魚の共存を目指して

北海道大学大学院農学研究院動物生態学研究室の荒木教授から，オレゴン州フッド川でのスチールヘッドの研究事例から，野生魚と放流魚（=継代飼育魚）の形態の違いや，繁殖における放流魚による野生魚への遺伝的な影響は避けられないことなどが報告され，放流魚と野生魚が共存する手法の開発が重要との提言がなされました．

・成果情報：サケの自然再生産に関する取り組み

北海道区水産研究所繁殖保全グループの長谷川研究員から，耳石温度標識により野生魚と放流魚の識別が可能な 1）日本海区千歳川，2）根室海区伊茶仁川，3）オホーツク海区徳志別川での調査結果から，河川条件の違いにより各々の野生魚に特徴があることなどが報告されました．

日本海区水産研究所さけます調査普及グループの飯田研究員から，新潟県の藤塚浜におけるサケ稚魚の採集調査結果から，砂浜域はサケの重要な初期育成場であること，砂浜域に相当数の野生魚が生息することが報告されました．

標津サーモン科学館の市村館長から，標津町内の関係機関が連携した自然産卵調査について，1）産卵適地の多くは利用されず，ふ化場近辺で自然産卵していること，2）産卵場所の拡大には遡上の障害となる落差工の改修等が必要であり，それには各市町村の理解と協力が不可欠なことなどが報告されました．

北海道区水産研究所繁殖保全グループの森田主任研究員から，1）耳石温度標識で野生魚と放

写真 3.「成果普及部会」会議全景．

写真 4.「成果情報」の趣旨説明．北海道区水産研究所：大熊繁殖保全グループ長．

写真 5.「ふ化場魚と野生魚の共存を目指して」を講演いただいた北海道大学の荒木教授．

写真 6.「成果情報」での発表者．北海道区水産研究所：長谷川研究員（左上），日本海区水産研究所：飯田研究員（右上），標津サーモン科学館：市村館長（左下），北海道区水産研究所：森田主任研究員（右下）．

流魚の識別が可能な千歳川と釧路川の調査結果により，野生魚を用いることでサケ資源減少のリスクを分散する効果が期待できること，2）仮想現実モデルを用いたコンピュータシミュレーション結果により，自然再生産だけでは資源を維持できないケースでも，ふ化放流を行うことで，回帰数が増加することなどが報告されました．

これら成果情報のまとめとして森田主任研究員から，ふ化場の近くで人工ふ化放流用の親魚を捕獲し，適正な分散放流により野生魚の生息域を増やすなどの野生魚と放流魚の「融和方策」が増殖事業にとって量的・質的にも大きなメリットがあり，放流魚と野生魚を車の両輪とした増殖事業の展開が重要との提言がなされました．

なお，これら成果情報の詳細については、本誌30ページの「さけます資源部第2回ワークショップ」をご覧ください．

・情報提供

(1) 北太平洋におけるさけます類の資源状況と来遊見込み

北海道区水産研究所の斎藤資源評価グループ長から，1）北太平洋のさけます類の資源状況，2）平成26年度のサケ来遊状況，3）平成27年度のサケ来遊見込みが紹介されました．

特に，平成25～26年にかけてベーリング海～アラスカ湾の広範囲において，海水温が平年よりも高い状況だったことが紹介され，サケ資源への影響を注視しているとの情報提供がなされました．

(2) 平成26年度の本州太平洋沿岸における震災年級の来遊状況

東北区水産研究所浅海生態系グループの佐々木研究員から，東日本大震災年級（平成22年級）4年魚の来遊状況について，津波被害を直接受けた河川において特に漁期後半に震災の影響が顕在化しているとの報告がなされました．

また，平成27年度本州太平洋のサケ来遊数の見通しについて，1）震災影響を受けている5年魚（平成22年級）の減少や，2）サケ稚魚放流数が例年より少ない4年魚（平成23年級）の動向が懸念されるとし，ふ化放流用種卵確保に向けて引き続き注意が必要であると報告されました．

(3) 平成26 年夏季ベーリング海調査結果

北海道区水産研究所資源評価グループの鈴木主任研究員から，夏季ベーリング海調査結果として，1）サケ採集尾数は1,500尾と例年の2,600～3,300尾に比べ少なく，2年魚の減少が顕著なこと，

写真 7.「情報提供」での発表者．北海道区水産研究所：斎藤資源評価グループ長，東北区水産研究所：佐々木研究員（右上），北海道区水産研究所：鈴木主任研究員（左下），北海道区水産研究所：伴ふ化放流技術グループ長（右下）．

2）サケの魚体の状態として，平成23年以降3年間続いた痩せ気味傾向はいったん解消されたようであること，3）採集したサケの由来を遺伝的系群識別により推定したところ，平成19年以降ロシア系が日本系の2倍以上採集されており，平成26年度は日本系の割合が若干減少し，代わりに北米系が増加する結果となったこと，4）平成24～25年の日本系の耳石温度標識魚の再捕個体は，オホーツク海区起源が最も多く，次いで根室海区起源となっていることなどが報告されました．

(4) 健苗育成のための飼育密度

北海道区水産研究所の伴ふ化放流技術グループ長から，1）飼育試験の結果、過密状況では鰓の上皮細胞の肥厚と棍棒化，浸透圧調整機能の低下が認められたこと，2）過密飼育でも換水率を高めることで影響は低減できるものの，体表の粘液細胞数が増加するなど生理的な負荷がかかっていることが推察されたこと，3）健苗育成には現行飼育基準（20kg/m^3以下）を維持し，維持できない場合は支流などを利用した早期放流で対処することが重要であると報告されました．

・意見交換

青森県さけます増殖協会からの「本州日本海側のサケ稚魚の移動経路を調べるため，北海道日本海側でもサケ稚魚調査を行ってほしい」との要望に，北海道区水産研究所永澤さけます資源部長から，「太平洋サケ資源回復調査事業では春季定

置漁業を利用してサケ稚魚標本を採取しているが，北海道日本海沿岸には採集できる手段がなく，宗谷海峡において用船による調査を試行し有効性を検討している」と回答しました．

・成果普及部会の改正について

北海道区水産研究所の大迫業務推進部長から，「成果普及部会」の改正案を研究部会で提案し，了承されたことを報告しました．

なお，参加者からの反対意見はありませんでしたが，アンケート調査での意見提出を依頼しました．

・アンケート結果

今後の会議をより充実させるため，本推進会議の参加者にアンケート調査を実施しました．「会議内容は業務に役立つ内容でしたか」と「配付資料は役立つ内容でしたか」との設問に対して，全て「はい」「まあまあ」との回答でした．「資料について改善すべき事」との設問には，発表スライドが見やすかったと言う意見と，持ち帰り紹介するため発表資料の提供要望がありました．「業務に役立つ内容」や「取組むべき課題」としては，来遊資源に関する取組み・研究・情報提供を望む声が数多くありました．また，「論議時間の不足」，「発表内容が多すぎる」とのご指摘もいただきました．

なお，成果普及部会の改正についての反対意見はありませんでした．

写真 8.「意見交換」における質疑応答.

おわりに

本推進会議は，さけますに関係する様々な機関や団体が一堂に会して情報や意見交換ができる貴重な機会であり，ブロック推進会議とは異なる「分野別推進会議」に位置付けられています．平成 28 年度からは「成果普及部会」はこの推進会議から独立し，より多くの方々が集まりやすいように「さけます成果普及報告会（仮称）」として模様替えする予定です。参加された皆様にご協力を頂いたアンケート調査などを踏まえ、「研究部会」および「さけます成果普及報告会（仮称）」をより充実したものとするよう努めて参りますので，関係者の皆様には今後ともご参加いただきますようよろしくお願いします．

会議情報

2015 年 NPAFC 年次会議

科学調査統計小委員会（CSRS）と国際シンポジウムの概要

浦和（うらわ） 茂彦（しげひこ）（北海道区水産研究所　さけます資源部）

北太平洋溯河性魚類委員会（North Pacific Anadromous Fish Commission （NPAFC）；以下 NPAFC）は，1993 年 2 月に発効した『北太平洋における溯河性魚類の系群の保存のための条約』に基づき国際機関として設立されました．NPAFC の目的は，『条約区域における溯河性魚類（さけます類）の系群の保全を推進すること』であり，さけます類の母川を抱える加盟国（カナダ，日本，韓国，ロシアと米国）が協力して，科学調査と取締活動を実施しています．2015 年 5 月 11 日より 15 日まで，日本の神戸において第 23 回 NPAFC 年次会議が開催されました．ここでは，科学調査統計小委員会（ＣＳＲＳ）と，引き続き開催された国際シンポジウムの概要を報告します．

写真 1. 神戸国際会議場で開催された NPAFC 年次会議．

さけます類の漁獲量と放流数（2014 年）

総漁獲量（商業漁獲量）は 86 万トン（3.9 億尾）で，昨年（111 万トン，5.9 億尾）よりは減少しましたが，カラフトマスの漁獲量が比較的少ない偶数年としては高いレベルでした．国別では，米国が 34.6 万トンと全体の約 40%を占め，ロシアが 33.6 万トン（38.9%），日本が 14.4 万トン（16.7%），カナダが 3.7 万トン（4.4%），韓国が 437 トン（1%以下）でした．魚種別では，サケが 32.7 万トン（37.9%），カラフトマスが 30.6 万トン（35.5%）で，この 2 魚種で全体の 73%を占めました．ロシアにおけるサケの漁獲量は，2000 年代半ばより急激に増加し，2014 年には日本とほぼ同じレベルとなりました（図 1）．特に，アムール川を含め，オホーツク海沿岸における増加が顕著です．

ふ化場からの総放流数は約 52 億尾であり，1993 年以降ほぼ一定でした．国別の放流内訳は，米国 20.6 億尾（40%），日本 19 億尾（37%），ロシア約 9.7 億尾（19%），カナダ約 2.4 億尾（5%），韓国約 2,800 万尾（1%以下）でした．魚種別では，サケが最も多く，最近は毎年 30 億尾前後の稚魚が各国から放流されています（図 2）．

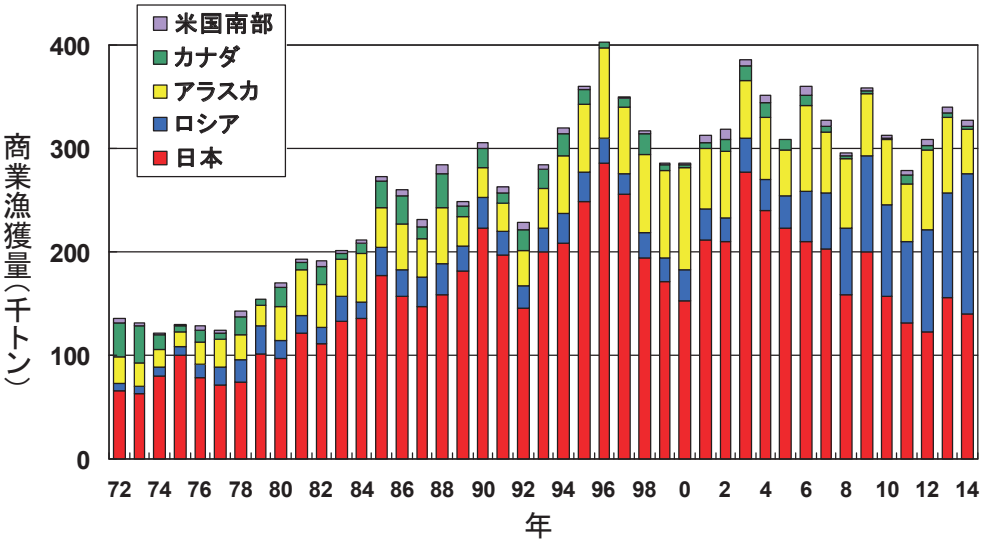

図 1. サケの地域別沿岸漁獲量（1972–2014 年）．

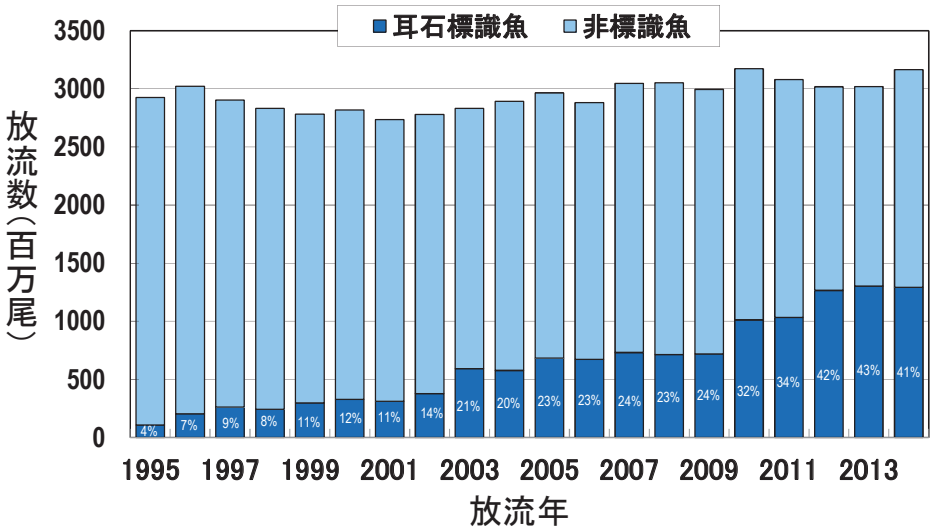

図 2. 太平洋沿岸におけるサケ稚魚の総放流数（1995－2014 年）.

耳石標識放流

耳石標識は，さけます類の発眼卵や仔魚に水温変化などを与えて，耳石にバーコードの様な模様を施す大量標識技術です．河川や海洋で採集された魚のふ化場起源を個体別に識別できることから，回遊経路の特定や野生魚との識別など様々な研究に利用されています．耳石標識魚の放流数は年毎に増加し，2014 年の耳石標識魚の総放流数は約 25 億尾で，ふ化場からの放流魚の約半数（48%）が耳石標識されています．サケ稚魚でも，耳石標識魚は約 13 億尾が放流され，41%を占めています（図２）．耳石標識作業グループは，各国から放流される 2015 年級群の耳石標識パターンが重複しないように調整を行いました．日本は，ふ化場 49 カ所で，2015 年級約 2.7 億尾（サケ 241 百万尾，カラフトマス 24.5 百万尾，サクラマス 3.4 百万尾，ベニザケ 15 万尾）に 104 種類の耳石標識を施して放流する計画を提出し（Tomida et al. 2015），これらは他国の標識パターンと重複しないことが確認されました．また，2014 年までに放流した耳石標識魚の標識パターンや画像データなどを，NPAFC 耳石標識放流データベースに登録しました．このデータベースは一般にも公開されていますが，ホームページアドレスが http://wgosm.npafc.org に変更されました．

NPAFC 科学計画に関係した研究活動のレビュー

日本は，2014-2015 年に発表された関連論文 37 編の要旨集を提出しました（Sato et al. 2015）．また，現在の科学計画（2011-2015 年版）で設定された 5 つの研究コンポーネントに関する研究の進展状況を総括するため，年次会議に引き続き，国際シンポジウムが開催されました．このシンポジウムの概要は後述します．さらに，科学分科会メンバーと指名されたパネルメンバーにより科学計画のレビュー・ドキュメントを作成し，それに基づいて新科学計画（2016-2020 年版）が策定されることになりました．

国際さけます年

2018-2019 年を「International Year of the Salmon（IYS: 国際さけます年）」に制定し，特定の海域で，さけます類とその生息環境に関する野外調査を集中的に実施することを，NPAFC が中心となり検討しています．第 1 回 IYS 検討会議が 2015 年 2 月にカナダのバンクーバーで開催され，以下のような基本テーマ案が報告されました．

①さけます類と生息環境の現状把握
②生息域における環境変動がさけます類に与える影響を理解し，将来の資源変動を予測
③さけます類の研究を推進する新技術の開発
④持続的なさけます資源に依存する文化的，社会的および経済的要素の研究

写真 2. 第 23 回年次会議に参加した日本代表団メンバーと NPAFC 事務局職員．事務局で長らく活躍されたモーリス和加子総務主任（中央、左隣は夫のアラン氏）は今回の年次会議を最後に勇退した．

⑤将来の研究のためのアクセス可能な科学情報のデータベース構築

対象魚種は溯河性さけます類で，対象地域は温暖化による分布域のシフトも考慮し，北太平洋のみならず，北極海や北大西洋なども含むことが想定されています．この野心的なプロジェクトを具体化するため，新たに IYS 作業グループを立ち上げ，2016 年 3 月に第 2 回検討会を開催することになりました．IYS プロジェクトにより，各国の研究機関や組織からさまざまな分野の研究者の参加した国際共同研究が実現し，さけます類の分布や資源変動を規定する生態学的メカニズムと，それらに及ぼす気候変動の影響を解き明かす突破口となることが期待されます．

さけます類の生産に関する国際シンポジウム

NPAFC 主催による国際シンポジウム「気候変動下における太平洋さけます類とスチールヘッドの生産：過去，現在と未来（International Symposium on Pacific Salmon and Steelhead Production in a Changing Climate: Past, Present, and Future）」が，2015 年 5 月 17～19 日に神戸国際会議場で開催されました．

さけます類の漁獲量は，現在，歴史的に高いレベルにありますが，経年変動が大きく，魚種間でも変動傾向が異なります．また，地域間でも差が見られ，ロシアやアラスカなど北方域では資源量が比較的高位なのに対し，日本を含む分布の南限域では減少傾向にあります．さけます類の資源変動メカニズムの詳細は未解明な点が多く，特に気候変動が将来どのような影響を与えるかが大きな関心事です．さけます資源を将来にわたり保全し，持続的に利用するため，地球温暖化などの気候変動が，これら冷水性魚類にどのような影響を与えるかを理解することが重要です．

本シンポジウムには，NPAFC 加盟 5 カ国と台湾より専門家 106 名が参加し，共同スポンサーとなった水産総合研究センターの宮原正典理事長の開会挨拶で幕を明けました．（1）海洋生活初期と越冬期におけるさけます類の移動と生残のメカニズム，（2）さけます類の生産と海洋生態系に与える気候変動の影響，（3）海洋生態系の状態を示す主要なさけます個体群のレトロスペクティブ（歴史的）解析，（4）さけます類の資源管理のための系群識別とモデルの応用，（5）気候変動下におけるさけます類の生産と生態系の将来予測，の 5 つのトピックセッションで，招待講演 11 題，口頭発表 28 題とポスター発表 43 題が行われ，最後に各セッションの取りまとめと全体の総括が行われました．

写真 3. 国際シンポジウム参加者による活発な論議．

各セッションの概要は，NPAFC Newsletter（Urawa 2015）や日本水産学会誌（浦和 2016）に紹介されていますので，これらを参照してください．また，講演の一部は，査読を経て論文として NPAFC Bulletin 6 号（2016 年 9 月刊行予定）に掲載されます．

本シンポジウムを開催するに当たり，多くの個人と組織にご協力いただきました．ご貢献いただいた講演者や各セッションのコンビナーの方々に組織委員会を代表して感謝申し上げます．また，裏方としてシンポジウムを支えた水産庁，水産総合研究センターと NPAFC 事務局のスタッフにもお礼申し上げます．国内スポンサーとして，北海道さけ・ます増殖事業協会ならびに北海道定置漁業協会からもご支援をいただきました．記して感謝申し上げます．

文　献

Sato, S., Nagasawa, T., and Urawa, S. 2015. Japanese bibliography in 2014-2015 for NPAFC Science Plan. NPAFC Doc. 1598. 16 pp. （Available at www.npafc.org）.

Tomida, Y., Toda, S., and Urawa, S. 2015. Proposed otolith marks for brood year 2015 salmon in Japan. NPAFC Doc. 1587 （Rev. 1）. 12 pp. （Available at www.npafc.org）.

Urawa, S. 2015. International Symposium on Pacific Salmon and Steelhead Production in a Changing Climate:Past, Present, and Future. NPAFC Newsletter, 38: 12-18. （Available at www.npafc.org）.

浦和茂彦. 2016. 神戸で開催されたサケ・マス類の生産に関する国際シンポジウム. 日水誌, 82: 58-63.

会議報告

平成 27 年度さけます資源部第1回連絡会議ワークショップ

「野生魚を活用した持続可能なさけます漁業と増殖事業」

大熊 一正[*1]・長谷川 功[*1]・佐藤 俊平[*1]・岸 大弼[*2]・市村 政樹[*3]・飯田 真也[*4]・森田 健太郎[*1]

さけます類ではサケを中心にふ化放流による放流数が増大し，加えて飼育放流技術の改良に伴い飛躍的に回帰来遊数が増えてきました．この増加には北太平洋や地球規模での海洋環境の変化も関係したとも言われています．近年は放流数が一定の状況下で放流サイズの大型化が図られているにもかかわらず，回帰来遊数の減少や変動がみられるようになっており，現在主として資源分野や増殖技術分野の研究者，技術者が原因の究明や解決策の開発に精力的に取り組んでいるところです．このような状況の中，北水研繁殖保全グループではこれまで「さけますといえばふ化放流」と考えられてきた中で野生魚に注目し，その実態を明らかにしつつ，資源への添加効果や安定化に貢献できないかという視点で研究に取り組んでいます．

ふ化放流事業の広範な実施により，全体としての遺伝的多様性は維持されるものの，個体群の特性の喪失や均質化の生じることが懸念され，結果的に温暖化などの地球規模の環境変化への対応能の低下（死亡率の増加）も予想されています．またふ化放流事業実施の際の人為的な選択や操作により魚体サイズや繁殖形質（特に稚魚の大きさに関る卵の大きさ），放流時期への影響も懸念され，実際スチールヘッドトラウトではふ化場魚の生残（繁殖）に負の影響が認められた事例もあります（Araki et al. 2008）．

日本では北水研が中心となって実施している大規模な耳石温度標識放流などにより，断片的ではありますが放流河川においても野生魚の存在が明らかとなっており，それらが放流個体群とは異なる遺伝的，生態的特性を維持していることも明らかとなっています．野生魚も沿岸においては放流魚と同様に漁業資源として利用されているほか，人工再生産にも用いられているため，これらの野生資源を維持していく必要性は十分あり，これをふやすことで増殖経費をかけずに資源の添加ができます．

そこで今回は，これまでに明らかになりつつある野生魚の特性，実態に関する知見や野生魚保全の必要性を確認し，野生魚を組み込んだ増殖事業の展開方向を考えるワークショップを企画しました．以下にワークショップの演題と発表内容の概略を紹介します．

なお，今回ワークショップで用いる野生魚，放流魚といった言葉の使い方で混乱を招くことも考えられましたので，その定義について表 1 にまとめました．

表 1．本ワークショップで用いたサケ科魚類の呼称と定義（森田・大熊 2015）．

名称	定義
野生魚（Wild fish）	自然産卵で生まれた個体．一世代以上にわたり自然再生産している個体で，その両親は野生魚か放流魚かは問わない．
放流魚（Hatchery fish）	ふ化場から野外に放流された個体．人工授精に用いられた親魚は野生魚か放流魚かは問わない．
養殖魚（Farmed fish）	養殖場で飼育されている個体．数世代にわたり人工再生産されているものを特に継代飼育魚（Captive broodstock）という．
天然魚（Native fish）	過去に人為的な放流によって他個体群や放流魚が混ざったことが無く，遺伝的な固有性を有している個体．
自然産卵魚（Natural spawning fish）	野生魚か放流魚かは区別できないが，野外で自然産卵している個体．

※ これらは試験研究機関や学術論文で用いられている定義であるが，水産業界において日本のサケが販売されるときに，主に輸入物の養殖魚と区分する目的から，放流魚も含めた日本のサケを「天然」や「Wild Salmon」と称して流通されることも多い．

*1 北海道区水産研究所 さけます資源部，*2 岐阜県水産研究所，*3 標津サーモン科学館，*4 日本海区水産研究所 資源管理部．

1．野生魚と放流魚の生態的，遺伝的特性の概説～繁殖保全Ｇの研究成果を中心に～

近年になってサケが自然産卵している河川が北海道内の各地にあることが報告され（Miyakoshi et al. 2012），さらに北海道内のふ化放流河川に遡上する親魚でさえ約 20%は野生魚であると推定されました（図 1）．これらのことから，野生魚もサケ資源の増殖・維持に関して重要な役割を担っているという見解が示されました．また，生物多様性保全に対する社会的意識が高まってきた今日，個体や個体群間レベルでの違いにも配慮した保全が求められています．サケについてもその個体群独自の生態的，遺伝的性質を保持している可能性が高い野生魚を保全しようという機運が高まっています．では，野生魚と放流魚では何が，どう違うのでしょうか？このことは，サケを含めたさけます類の資源管理に関する研究のなかでも重要テーマの一つであり，北水研では繁殖保全グループが中心となって研究に取り組んでいます．ここでは，その研究の概要を紹介します．

サケという同じ種の魚であっても個体群間あるいは個体群内でも生活史，形態，体サイズに違いが見られます．そこで，ここではこのような個体群間（河川間）変異を考慮しながら野生魚と放流魚で何が，どう異なっているのかについて，まず年齢と体サイズについて，放流魚全てに耳石温度標識が施されている伊茶仁川，千歳川，徳志別川の 3 河川で比較しました．千歳川では 11 月中旬以降年齢差が拡大し，それと同調するように尾叉長の差も拡大し，野生魚のほうが大きくなっていたことがわかりました（長谷川ら　2013）．また，同年齢で尾叉長を比較した場合では一貫して野生魚のほうが大きいことがわかりました（図 2a）．このような体サイズの違いは，野生魚では一般に大型個体が選択的に生き残り，放流魚は逆に選択圧が低下して小型化したと考えられています．また，12 月以降の野生魚は大型であるため，このような魚の保全は喫緊の課題である小型化対策にも有効となるかもしれません．伊茶仁川では，尾叉長では当然高齢ほど大型化しますが，高齢化に伴う大型化の度合いは野生魚に比べ放流魚のほうが大きくなっていました（図 2b）．伊

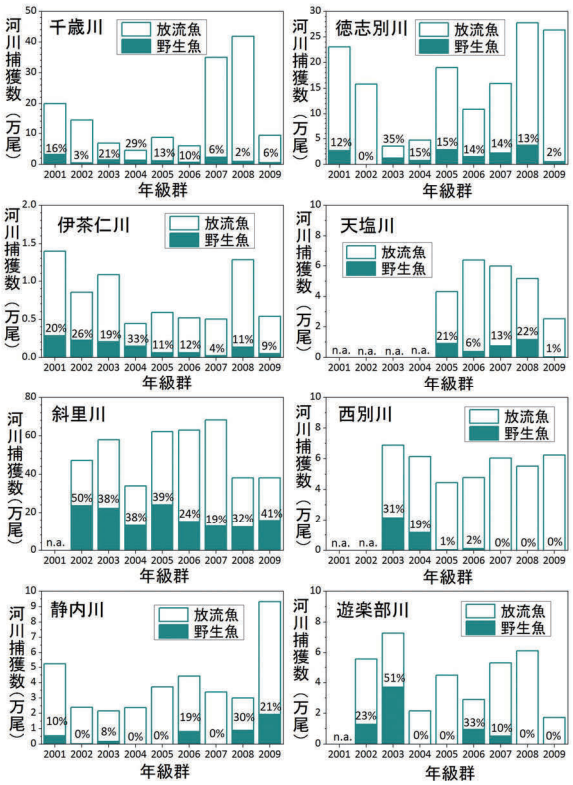

図 1．人工ふ化放流を実施している北海道内 8 河川におけるサケ野生魚割合の推定値（森田ら 2013 に加筆して再描画）．

注：100%標識されている河川（千歳，伊茶仁，徳志別）では，無標識魚をすべて野生魚とした．また，100%標識されていない河川では，民間の無標識魚と北水研の標識魚で回帰率が等しいと仮定した．すなわち，民間の無標識魚の方が回帰率が高い場合は過大推定され，逆に低い場合は過小推定される．

茶仁川で野生魚が大きくならない理由として小規模河川に適応したからかもしれません（Jonsson et al. 2001）．徳志別川では差異は検出されませんでしたが，これは放流魚と野生魚の交雑の結果かあるいは野生魚の特徴を保持しながら放流が行われているからかもしれません（図 2c）．このように河川によって野生魚と放流魚の差の現れ方が違う場合も見られます．今回は分析を行っていませんが，二次性徴などの特性についての検討も必要でしょう．これについては現在天塩川，千歳川の標本を用いて分析を行っているところです．

次に河川間での違いについて述べます．旬毎に見たときの年齢変化のパターンは野生魚では千

歳川と伊茶仁川が同じで徳志別川がやや異なっていたのに対し，放流魚では 3 河川も同じような変化パターンを示しました．体長の変化パターンでは野生魚の場合は 3 河川とも異なっていたのに対し，放流魚では千歳川のパターンが伊茶仁川に似てきました．このように年齢，尾叉長についての違いは放流魚，野生魚とも河川間で同じとは限らないことが示されましたが，放流魚同士の変化パターンは似ている傾向が見られ，河川（個体群）間変異は放流魚の方が小さくなっていることがうかがわれました．

続いて，支流間での違いについて石狩川水系の本流，千歳川，豊平川での事例を紹介します．過去に久保・小林（1953）がそれぞれの支流での脊椎骨数を比較していて，その差について安藤ら（2014）は遡上時期の支流間変異が経験水温の違いと遺伝的要因の違い，およびその両者の相乗効果をもたらし，脊椎骨数の変異を生むと考察しています．このようにサケにおいても母川を支流単位で認識していることが考えられてきました．遺伝的に調べたところ，久保・小林（1953）を指示する結果が得られ，さらに千歳川では同一河川（個体群）内でも野生魚と放流魚で遺伝的に異なっていることが示されました．また，同様の支流単位の認識は山形県月光川にある 3 つのふ化場から放流された異なる耳石温度標識を持つ親魚の回帰結果からも示されています（飯田 投稿準備中）．

放流魚と野生魚は稚魚期までの生育環境が大きく異なっていて，放流魚は飼育環境への適応が進むと考えられています．そのため野生魚と比較して外部形態が異なったり，内部の臓器の形にまで影響を与えることが示されています．さらに，行動にまでその違いが認められ，Hasegawa et al.（2014）では放流サケの存在によって野生サケの成長が低下するという事例も報告されています．ただし，同じ実験を野生サクラマスに対して行ったところ異なる結果が得られ，放流魚の野生魚に対する影響は種毎に異なることも示されています．その他，放流魚は野生魚と比べ捕食者への警戒心が弱いという報告は多く示されています．

このように，放流魚と野生魚は多くの点で異なっていることがわかってきました．野生魚の変異は河川毎，時期毎にそれぞれの環境に適応してきた結果と考えられ，資源の安定化や持続的利用には不可欠と考えられます．逆に放流魚では人為選択，単一環境での飼育などにより河川間での変異が小さくなって来ている傾向が示されました．今後ふ化放流事業と自然再生産をうまく併用し持続可能な資源管理のためにこのような野生魚と放流魚の特性を理解していくことは重要と考えられます．

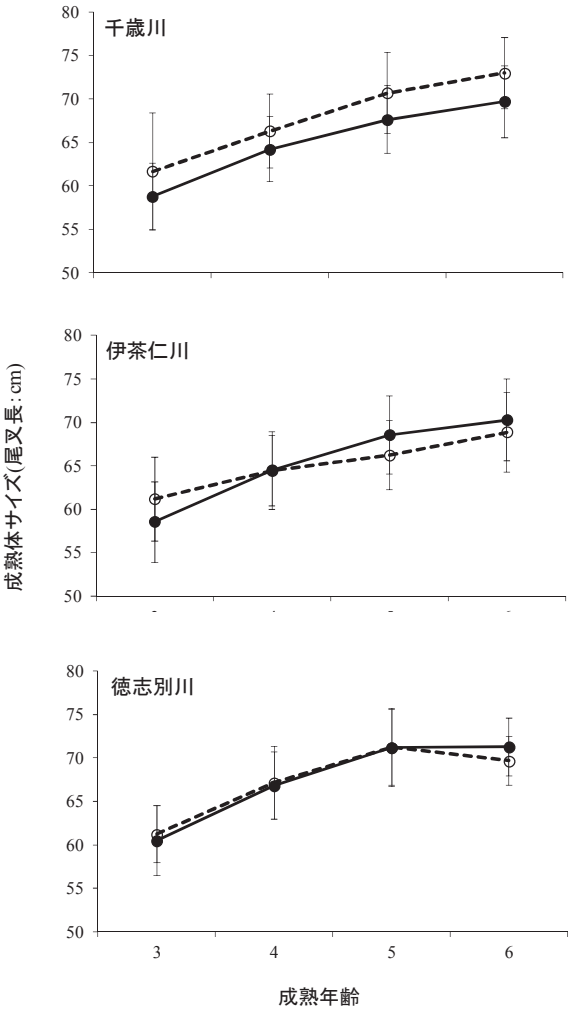

図 2. 野生魚と放流魚の年齢別体サイズの比較．点線：野生魚，実線：放流魚（長谷川ら 2013 を改図）．

2．回帰率の高いサツキマス種苗“半野生系”の開発

サツキマスは，サクラマス群の 1 亜種で，世界最南限に分布する降海型サケ科魚類です．かつては静岡～山口・徳島県で漁獲されていましたが，河川横断工作物の設置により分布域は縮小し，現在も漁業対象種として利用されている水系は，木曽三川（木曽・長良・揖斐川）などごく少数です．サツキマスは，0+の晩秋に降海して一冬を海域で生活した後，1+の春に河川に回帰し，夏は上流域の大型の淵に滞留した後，秋に産卵します．岐阜県の例では，春から夏にかけて海域から河川に回帰した個体が木曽三川の中・下流域で漁獲されます．漁獲量は 2.7 トン（2013 年）と小規模である上，市場に出荷されるものは商品価値の高い大型個体（0.5-0.6kg 以上）に限定されるため，市場への出荷量は年間 0.4 トン程度です．このように市場出荷量が少ない一方，4,000 円/kg 前後の高値で取引されることから，漁業権魚種として今もなお

重視されています．

岐阜県では，県内全 33 漁業協同組合のうち，木曽三川の中・下流域の計 6 漁業協同組合がサツキマスを漁業権魚種としており，その増殖義務が課せられています．しかし，中・下流域は，もともと産卵に適した環境がなく，夏季水温が高く稚魚の越夏ができない水域であるため，実施可能な増殖方法は，水温が低下した晩秋の 0+スモルトの放流に限定されています．

木曽三川の中・下流域の各漁業協同組合による放流には，岐阜県内の民間養殖場で生産された継代養殖魚の 0+スモルトが使用されています．この継代養殖魚は，1966，67 年に木曽川水系飛騨川とその支流から採捕したアマゴ天然魚を初代親魚として岐阜県水産研究所（当時は水産試験場）が継代飼育している系統です．

岐阜県におけるサツキマスの漁獲量は，統計を開始した 1976～2002 年は 11.2～32.6 トンで推移していましたが，2003 年以降は 2.3～6.6 トンと低迷しています．近年は 0+秋スモルトの放流量も減少していますが，漁獲量はより急な減少であることから，放流効果が疑問視されているのが実情です．そこで改善策として，放流に使用する種苗の系統の変更により改善を試みることとなりました．

サクラマスの例では，水槽実験で継代養殖魚の採餌行動の活発さが観察されている一方，捕食者に対する継代養殖魚の警戒心は野生魚よりも弱いことが明らかにされています（Yamamoto and Reinhardt 2003）．また，継代養殖魚は，上流域のヤマメ・アマゴの種苗放流でも多用されていますが，増養殖研究所（2013）の研究では，その費用対効果が漁業協同組合の期待よりも低い水準であることや，継代養殖魚は野生魚よりも河川での生残率が低いことが明らかにされています．継代養殖魚と野生魚の生残率の差異の要因はいまだ明確には特定されていないものの，継代養殖魚は，人工的な環境への適応が進行する一方，同時に自然環境への不適応が進行していると推測されます．そこで岐阜県水産研究所では，野生魚を素材とした新たな系統の作出を検討することとしました．ただし，岐阜県のサツキマスの場合は，野生魚の雌雄を交配した種苗の生産は現実的ではないため，上流域のアマゴ野生魚での代用を検討しましたが，アマゴであっても雌の事業規模での採捕はやはり個体群の存続を阻害するおそれがあることから，新たな系統の作出には雄のみを使用することとしました．こうした経緯から，岐阜県水産研究所では，継代養殖魚の雌と野生魚の雄の交配による“半野生系”を作出するとともに，0+秋スモルトを標識放流して翌年春の漁獲状況を調査しました（徳原 2014）．

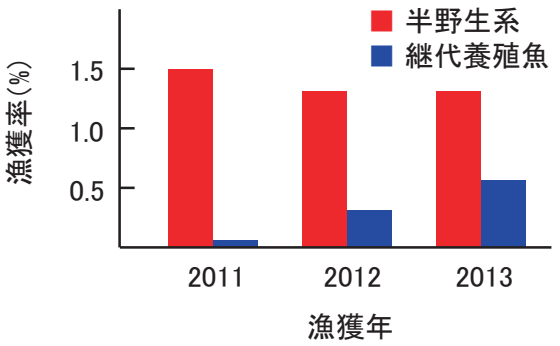

図 3. 木曽川下流域におけるサツキマス半野生系および継代養殖魚の漁獲率（漁獲数/放流数）．

半野生系は，2009 年秋から岐阜県水産研究所下呂支所の継代養殖魚の雌から採取した卵と木曽川水系飛騨川支流馬瀬川の支流群のアマゴ野生魚の雄から採取した精液とを交配して作出しました．これら半野生系の標識放流は，木曽川下流域において 2010～2012 年（漁獲調査は 2011～2013 年）の 3 ヶ年実施しました．半野生系は，継代せず，アマゴ野生魚の採精を毎年行って作出して調査に使用しました．また，対照群としてほぼ同数の継代養殖魚を同地点で同時に放流しました．両群は色の異なるアンカータグを背鰭基部に装着して標識しており，翌年春に海域から回帰した個体を木曽川下流域の 1 漁業協同組合の協力を得て流し網（刺網の 1 種）により漁獲し，その漁獲率（放流個体数に対する漁獲個体数の割合）を群間で比較しました．その結果，いずれの年も半野生系の漁獲率が高いことが確認されました（図 3）．例えば，両群の同数・同サイズ・同地点・同時の放流が実現した 2010 年放流分については，漁獲率は継代養殖魚 0.08 %に対して半野生系 1.51%となりました．なお，漁業者への聞き取りでは，水揚げの際にアンカータグが外れたと思われる個体（タグが抜けた傷跡を有する個体）が散見されたとのことで，これらの漁獲率はやや過小な値であると考えられます．今回は，1 漁業協同組合のみの漁獲状況を評価しているため，水系全体での標識個体の生残率は把握されていませんが，これまで使用されてきた継代養殖魚以上に半野生系が漁獲に貢献していることを例示できました．このことから，継代養殖魚から半野生系の移行が 0+秋スモルト放流の改善策のひとつになると考えられました．

3．標津町サケマス自然産卵調査協議会の取り組み

標津町サケマス自然産卵調査協議会（以下「協議会」）は，標津漁業協同組合，同サケ定置漁業部会，標津町，根室管内さけ・ます増殖事業協会

によって 2012（平成 24）年 1 月より 5 ヶ年計画で立ち上げた組織です．

標津町は人口約 5,400 人，主な産業は漁業と酪農の小さな自治体ですが，秋サケの漁獲量は現在約 200 万尾と，かつては秋サケの漁獲量日本一になった 1990 年代の 1/2 以下に落ち込んでいます．漁業者には「産卵場所は余っているのだからこれを利用してとにかく漁業資源をつくろう」と提案したところ受入られ，この協議会が設立されました．この協議会は現在のふ化放流事業に加え，自然産卵による漁業資源の増加を目的に，標津町内 5 水系で，各河川におけるサケ，カラフトマスおよびサクラマスの自然産卵状況，自然産卵による卵の発眼までの生残率，稚魚の生息環境や，産卵適地面積を調査しています。各項目の調査は，毎月 1～3 回行われていますが，構成団体から派遣される職員に加えて漁業者も積極的に参加しています．

今回は 2012～2014 年に標津町内で実施したサケの自然産卵状況および発眼時の生残率についての調査結果を報告します（市村 2015）．まず自然産卵状況を把握するため，標津町内のふ化場がある 5 水系（元崎無異川，薫別川，忠類川，伊茶仁川，標津川）の 28 定点において，9-12 月に毎月 3 回を目標に産卵状況調査を実施しました．産卵個体が多く認められたのはいずれの年もふ化場の近辺でした．2013 年には落差工の下流で多く見られた場所があり，産卵遡上の障害になっているものと考えられました．今回調査した 5 水系で産卵するサケの 90 %以上は，ふ化場から 0.5 km 以内に集中していました．

次に，各産卵床内の生卵および死卵を計数し発眼率を推定しました．2012 年から 2015 年 3 月までの間に合計 280 床で発眼率を調査したところ，産卵床毎の生残率（発眼率）は全滅からほぼ 100 %の生残まで大きな幅を持っていました．5 水系での発眼卵の生残率の平均値は，すべての調査年で平均 50 %以下であり，北海道内の他河川の既報の結果（92～98 %）より低くなっていました（図 4）．同じ定点で 3 年以上データの得られた地点で比較したところ，数カ所で特に発眼率の低いところがみられました．これらの場所は親魚の密度が高かったためではないかと考えられました．また産卵床内で粒径 2 mm 以下の砂利の割合が高まると卵死亡率が上がるとされています（Koski 1975）が，今回生残率の低かった 3 河川で砂礫組成との関係を調べたところ、相関は認められませんでした．しかし，産卵床密度と卵生残率の間には負の相関が認められ，ふ化場付近で産卵したサケは分布密度が高く，そのことが卵の生残率を低下させた一要因と考えられました．

産卵可能な水域の面積を推定するため，5 水系の 25 地点において，河川横断線を約 10 本設定し，川幅に応じて等間隔の 3～5 箇所の計測点（縦 1 m ×横 1 m）を設け，各計測点における水深，流速および礫径を調べました．それらの情報をもとに，水深 10 cm 以上，流速約 84 cm/s 以下，河床礫径 16-64 mm の場所をサケの産卵の適地として，調査した 25 地点での産卵可能な河床面積を推定したところ，産卵に適した面積は合計 16 万 m^2 にも達しました（図 5）ました．これにサケの産卵床面積平均 2.26 m^2 を用いて計算したところ（Scott and Crossman 1973），メス親魚約 7 万尾の産卵が可能と試算され，未利用産卵適地が多く残されていると考えられました．本協議会ではこれらの調査結果を受け，2014 年度には親魚遡上の

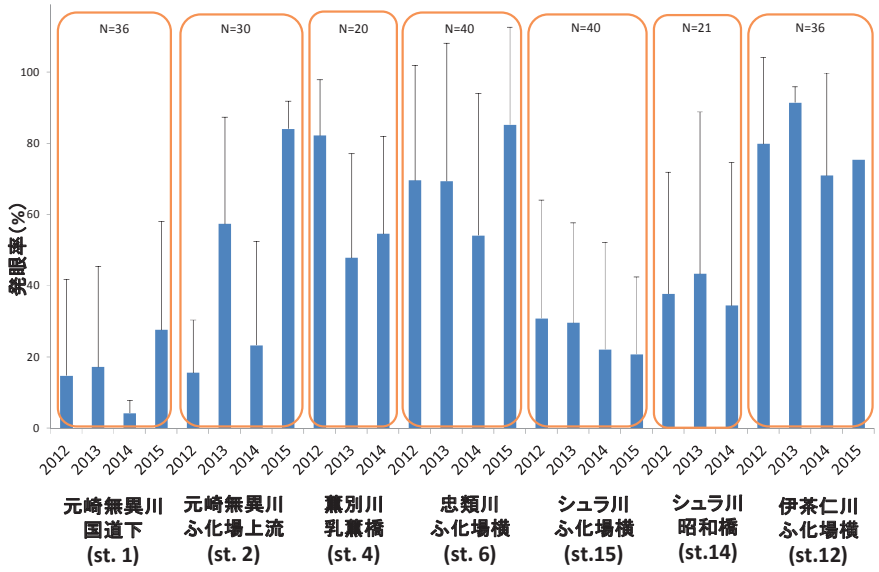

図 4．3 年以上観察を行った 7 定点での産卵床内の卵の平均発眼率（バーは標準偏差を示す）．

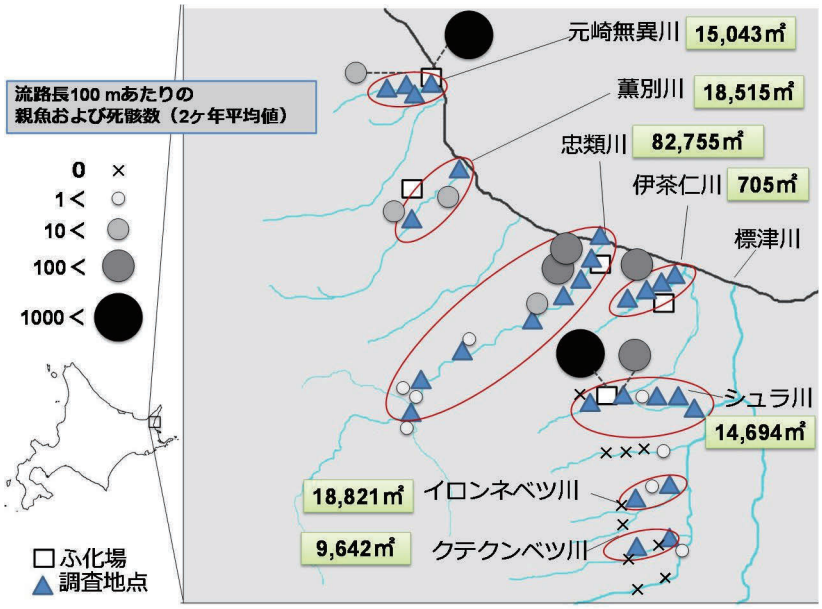

図 5. 環境計測結果から推定したサケの産卵可能な河床面積.

妨げとなっていた落差工の改修を行い（図 6），さらに標津川で捕獲された不用親魚 1,000 尾あまりをウライの上流へ放流しました．このように，野生魚の再生産を促すためには，本協議会のような，それぞれの地域の関係機関による主体的な取組みが有効な手段の一つであると考えられます．

4．本州日本海地域でのサケ自然再生産の実態と増殖事業への活用方向

本州日本海地域におけるサケのふ化放流事業に対する国・県・市町村からの補助金は大幅に減少する傾向にあります．また沿岸漁獲高に応じた漁業者からの協力金もありますが，新潟県の例ではピークの 1990 年代で約 7,000 万円だったものが，2013 年には 3,000 万円程度にまで減少しています．さらに電気・餌代の高騰も相まって，各ふ化場では現行の事業規模を維持することが非常に困難な状況にあり，秋田県ではこの 3 年間で 7 ふ化場が廃止となっています（H23: 13 ふ化場，H26: 6 ふ化場）．このため現存のサケ資源を維持するためには人工ふ化放流だけでなく，野生魚を併用した資源管理手法に移行していく必要があると考えられます．しかし，当地域の野生サケの生態に関する情報は極めて限定的であり，その存在自体がほとんど確かめられていない状況にあります．そこで私たちは野生サケの生態に関する情報を得るため，新潟県北部の藤塚浜において調査を行いました．

調査は 2011～2015 年の 2～6 月の各旬 1 回,小型の曳網（網口幅 2 m，高さ 1 m，奥行約 3.5 m）を用い，水深約 0.4-0.8 m の渚帯を 100 m 曳網し

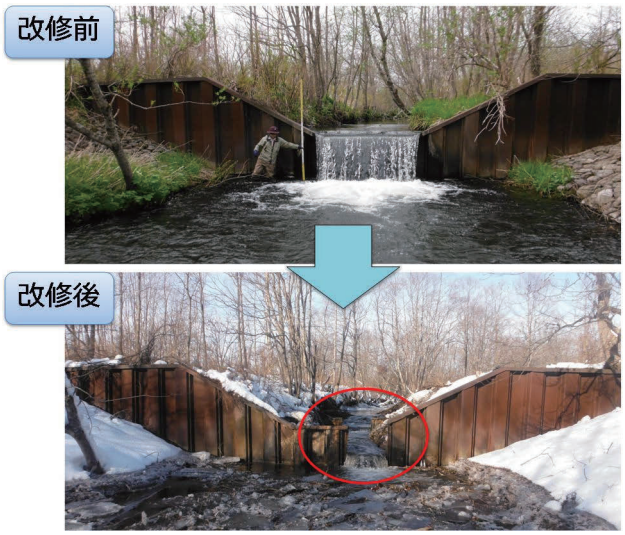

図 6. ポー川の落差工の改修．　落差工をスリット化した（上：改修前，下：改修後）.

てサケ稚魚を採集し,その出現時期，体サイズを調べました．すべての年でサケは概ね 3 月上旬から 5 月上旬に出現する傾向を示し，尾叉長の範囲は 30-65 mm の範囲で，そのモードは 38-42 mm にみられました．藤塚浜周辺にあるふ化場からのサケ稚魚の放流は 3 月中に終了していますが，採集魚の主体は,新潟県の放流サイズの基準値（45 mm）よりも小型である個体が大部分を占め，一部にはさいのうを吸収し終えていない個体も採集されていることなどから野生魚であると判断されました．そして，本研究により,自然再生産群の加入が存在し,かつ砂浜汀線域が重要な初期生息場であることが明らかとなりました．

５．野生魚を活用した増殖事業の展開

日本で実施されているさけます増殖事業は，綿密なふ化放流計画によって管理がなされています．昭和 30 年代頃までは自然産卵も加味して資源造成が図られていましたが，現在はふ化放流だけで資源造成を行う計画になっており，河川で捕獲されたサケはふ化事業に使用するしないに係わらずほとんどが取り上げられています［北海道の河川で捕獲された雌サケの使用率＝35%（1997～2012 年の平均値）］．近年，堰堤に魚道が敷設されるなどの河川環境の再生事業が進む一方で，その下流にふ化事業のための捕獲施設（ウライ，上りやな）が設置されている場合もあり，上流域に存在する産卵環境が有効に利用されていない場合も多くあります．

サケが自然産卵した場合の卵から稚魚までの生存率は 10～20%と推定されており，この値は人工ふ化放流における卵から稚魚までの生存率の約 1/8～1/4 に過ぎません（図 7）．しかし，それでも，雌サケ 1 尾を自然産卵させることは，約 4 年後には約 10～20 尾が沿岸漁業の対象になると見積もられます．売上金額で比較すると，河川捕獲して売却するよりも，自然産卵させた方が 4 年後には 10 倍以上の収益になることが期待されます．

現在の漁獲圧では自然再生産で個体群が維持できないという指摘は根強くあります．計算上は，河川回帰率[＝（1－自然死亡率）×（1－漁獲死亡率）]が 0.4～0.5%を下回ると自然再生産で個体群を維持することが困難になります．しかし，そのような条件であっても，仮想現実モデルを用いたコンピュータシミュレーションによって，野生魚を活用する効果が非常に大きいことが分かってきました．たとえば，自然再生産で個体群が維持できないような条件でも，自然産卵が可能な場所に分散放流を行い，そこに母川回帰する自然産卵魚を保全すれば，放流数の約 2 倍の回帰効果が期待される場合もあることが分かりました（図 8）．ただし，無秩序な分散放流は天然魚の保全の考え方とは矛盾するため，河川のゾーニングは必要でしょう．

また近年，人工ふ化放流を継続して行うことによって，天然魚のサケから遺伝的に変質するという‘家魚化’の恐れが懸念されていますが，自然再生産を活用した増殖事業は，家魚化のリスクを低減するものとなるでしょう．実際に自然再生産を用いたサケの資源管理方策として分離方策（Segregated program）と融和方策（Integrated program）が提唱されていますが，現在の日本においては融和方策のほうが現実的と考えられます（図 9）．このような手法は，サケが周辺の生

自然産卵させた場合，どれ位の資源が作れるのか？

	卵から稚魚までの生存率	メス1尾あたりの稚魚生産数	メス1尾から生産される親魚数（回帰率3%）
人工ふ化	80-90%	2400-2700尾	72-81尾
自然産卵	10-20%	300-600尾	9-18尾

自然産卵による卵から稚魚までの生存率

長沢･佐野(1961):　十勝川＝27.6%(16.2～34.4%)
森田ら(2013):　千歳川＝19.9%
有賀ら(2014):　豊平川＝12.6%(7.5～22.2%)

図 7. 自然産卵と人工ふ化による資源への貢献度合いの比較.

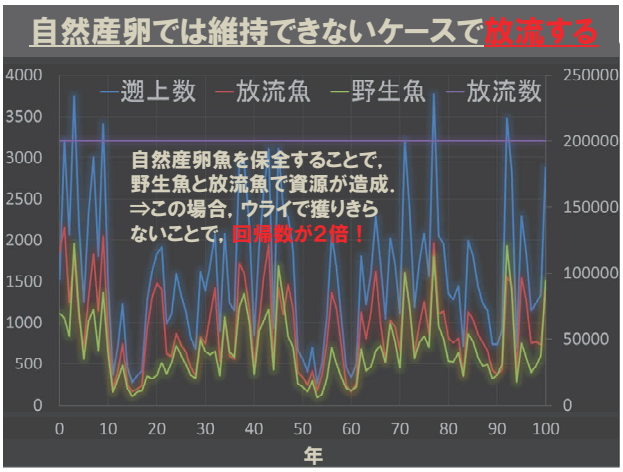

図 8. 自然産卵では維持できない条件で放流を行った場合の遡上魚数変化のコンピュータシミュレーション結果の一例．放流に加え，一定量のウライ上流への遡上を確保することで回帰数は 2 倍になるケースもみられました．

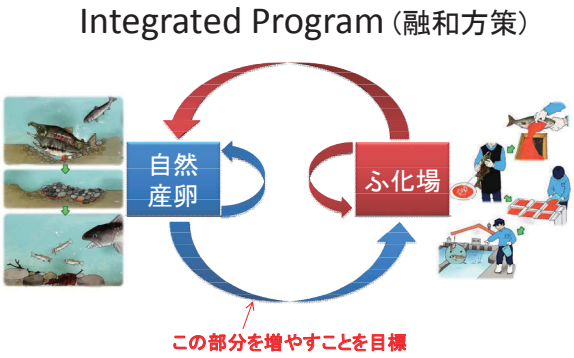

図 9. 自然産卵とふ化放流事業を組み合わせた融和方策（Integrated Program）の概念．究極的には自然産卵から生まれた魚のふ化場への貢献を最大にし，ふ化場生まれの魚の自然産卵を最少にすることを目指しますが，実際はある一定レベルを維持できるようにすることが目標となります．

態系に及ぼす効果についても配慮した，生物多様性にも優しい増殖事業と言えるでしょう．ふ化放流と自然産卵は別々のものでなく，車の両輪のようにバランス良く実施することでさけます増殖事業の前進を促し，資源をよりよい状態で維持することに寄与できるでしょう（図 10）．今後は，「稚魚のふ化放流」に加えて，「親魚の保全と再放流」もサケの増殖手法の一つとして考えてはどうでしょうか．

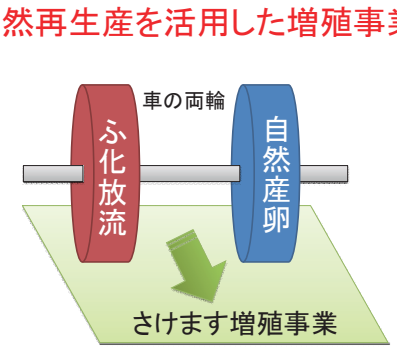

図 10. これからのさけます増殖事業のイメージ．ふ化放流と自然再生産がバランス良く保たれることでさけます増殖事業が前進し，ひいてはさけます資源が良好な状態で維持できることになると考えられます．

参考文献

安藤大成・神力義仁・下田和孝・安富亮平・佐々木義隆・宮腰靖之・中嶋正道. 2014.サケの産卵時期が脊椎骨数の変異に及ぼす影響．日水誌, 80:191-200.

Araki, H., Berejikian, B. A., Ford, M. J., and Blouin, M. S. 2008. Fitness of hatchery-reared salmonids in the wild. Evol. Appl., 1: 342-355.

有賀　望・森田健太郎・鈴木俊哉・佐藤信洋・岡本康寿・大熊一正．2014．大都市を流れる豊平川におけるサケ *Oncorhynchus keta* 野生個体群の存続可能性の評価．日水誌, 80:946-955.

長谷川功・森田健太郎・岡本康孝・大熊一正. 2013. 人工ふ化放流河川におけるサケの成熟年齢・サイズの野生魚−放流魚間比較．日水誌，79 : 657-665.

Hasegawa, K., Morita, K., Ohkuma, K., Ohnuki, T., and Okamoto, Y. 2014. Effects of hatchery chum salmon fry on density-dependent intra- and interspecific competition between wild chum and masu salmon fry. Can. J. Fish. Aquat. Sci., 71: 1475-1482.

市村政樹．2015．根室地域におけるサケの自然再生産の現状と評価に関する研究．北海道大学大学院水産科学院学位論文, 105 pp.

Jonsson, B., Jonsson, N., Brodtkorb, E., and Ingebrigtsen, P.-J. 2001. Life-history traits of brown trout vary with the size of small streams. Func. Ecol., 15: 310-317.

Koski, K. V. 1975. The survival and fitness of two stocks of chum salmon （*Oncorhynchus keta*） from egg deposition to emergence in a controlled-stream environment at Big Beef Creek. Ph. D. thesis. University of Washington, Seattle, WA. 212 p.

久保 達郎・小林 哲夫．1953．石狩川のサケの二三の魚群と脊椎骨數及びウロコの数について．日水誌, 19:297-302.

Miyakoshi ,Y., Urabe, H., Saneyoshi, H., Aoyama,T., Sakamoto, H., Ando, D., Kasugai, K., Mishima,Y., Takada, M., and Nagata, M. 2012. The occurrence and run timing of naturally spawning chum salmon in northern Japan. Environ. Biol. Fish., 94:197-216.

森田健太郎・高橋　悟・大熊一正・永沢　亨. 2013. 人工ふ化放流河川におけるサケ野生魚の割合推定．日水誌, 79 :206-213.

森田健太郎・大熊一正．2015．サケ：ふ化事業の陰で生きながらえてきた野生魚の存在とその保全．魚雑, 62: 189-195.

長沢有晃・佐野誠三．1961．メム川の天然産卵場で算定したサケ （*Oncorhynchus keta*） の降下稚魚について．さけ・ますふ研報, 16: 107-125.

佐野誠三．1952．鮭の天然蕃殖に関する研究　予報．さけ・ますふ研報, 7: 61-68.

Scott, W. B., and Crossman, E. J. 1973. Freshwater fishes of Canada. Fish. Res. Board Can. Bull., 184: 966pp.

徳原哲也．2014．放流効果の高いサツキマス種苗の開発 ：野生の雄×継代養殖の雌で"半野生魚"を作出．アクアネット, 17（3）: 52-55.

Yamamoto, T., and Reinhardt, U. 2003. Dominance and predator avoidance in domesticated and wild masu salmon *Oncorhynchus masou* . Fish. Sci., 69: 88-94

増養殖研究所．2013．マス類の効果的な増殖手法の開発．「地域の状況を踏まえた効果的な増殖手法開発事業研究報告書」（水産総合研究センター増養殖研究所内水面研究部編），水産庁，東京，p. 62-86.

トピックス

ロシアにおけるサケ資源の動向

森田 健太郎（北海道区水産研究所 さけます資源部）

はじめに

現在，日本のサケ資源は中位で横ばい傾向にありますが（斎藤ら 2015），ロシアのサケ資源は高位水準にあります（永沢 2015）．ここでは，隣国のロシアにおけるサケ資源の動向について詳しく紹介したいと思います．まず，注意すべき点として，ロシアの来遊数は漁獲数だけでは把握できないことが上げられます．ロシアでは，商業漁獲数の他に，自然遡上数，遊漁釣獲数，先住民の生存漁業といった4つの項目について数値が報告されています（表 1）．特に，ロシアでは自然遡上数が商業漁獲数に匹敵する数であり，また，気象条件等で漁獲率は左右されると考えられます．これらの数値は北太平洋溯河性魚類委員会（NPAFC）に報告され，ホームページ（http://www.npafc.org/）から調べることができます．ここでは，これらの4つの数値を総計したものをロシアの来遊数と呼ぶことにします．

なお，日本の来遊数は，河川捕獲数と沿岸漁獲数の 2 つを合計したものです．もちろん，日本でも河川捕獲を免れて自然遡上するサケは見られます．例えば，知床世界自然遺産の関係で自然遡上数がモニタリングされている羅臼川では，年平均すると河川捕獲数の3割程度のサケがウライ上流で計数されています（知床データセンター，http://dc.shiretoko-whc.com/index.html）．しかし，そもそも河川捕獲数は沿岸漁獲数の1割程度であるため，日本では自然遡上数が来遊数に占める割合は低いと考えられます．残念ながら，日本全体でのサケの自然遡上数に関するデータも存在しません．

ロシアおよび日本の来遊数と放流数の推移

サケの来遊数は，1970 年代から 2000 年にかけて，日本とロシアの両国ともに同調して増加しました（図 1）．例えば，1990 年の豊漁や 1992 年の不漁は両国で同調しています．2000 年代初頭までは日本の来遊数がロシアの来遊数を大きく上回っていましたが，その後，日本の来遊数が減少する一方で，ロシアの来遊数はさらなる増加に転じ，近年ではロシアの来遊数が日本を上回るようになっています．一方，ロシアや日本沿岸に来遊する前に途中漁獲される沖合漁獲数は，1970 年代中頃までは 2,000 万尾ほどあり，サケ漁業の主体でしたが，200 カイリ時代の影響をうけて徐々に減少しました．ただし，過去の沖合漁獲数は過小評価になっているという指摘もあります(本田 2013)．

日本の放流数は 1970 年代から 1980 年代初頭にかけて急激に増加したのに対し，ロシアの放流数は 1970 年代から 1990 年代中頃にかけては漸減傾向にありました（図 2）．しかし，2000 年以降，

表 1. 最近 5 カ年のロシアのサケ来遊数（単位は千尾）.

年	商業漁獲数 (Commercial catch)	自然遡上数 (Escapement)	遊漁釣獲数 (Sport fish)	先住民の生存漁業 (Subsistence)
2010	26,365	20,600	413	863
2011	25,833	14,594	428	1,652
2012	34,815	11,709	446	1,063
2013	34,410	48,022	533	908
2014	43,237	22,493	431	1,454

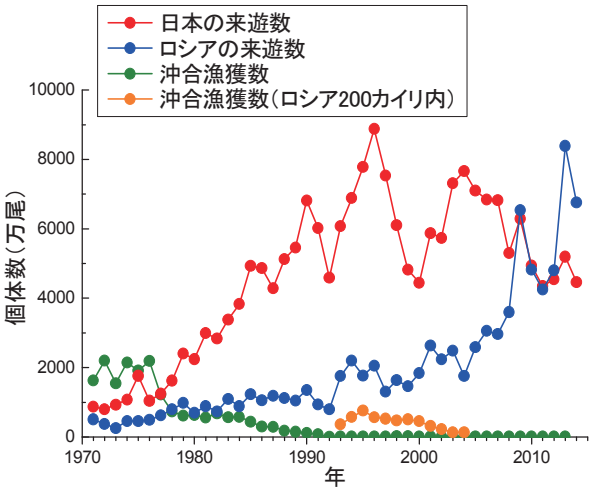

図 1. 日本およびロシアのサケ来遊数と沖合漁獲数の推移.

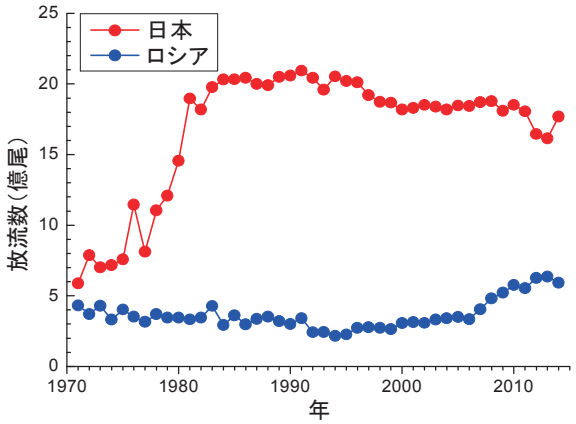

図 2. 日本およびロシアのサケ放流数の推移.

ロシアにおいてサケの放流数が増加傾向にあり，近年では約 6 億尾が放流されています．ロシアの放流数が増えたとは言え，日本の放流数の約 3 割しかないため，日本と同レベルの来遊数を放流数の増加で説明することには無理があります．また，放流の効果が得られるのは放流した稚魚が回帰する 4 年後以降になりますが，ロシアの来遊数の増加はそれ以前から生じています．そのため，ロシアのサケ資源の増加は，自然再生産の増加に起因する部分が大きいと考えられます．

アムール川系のサケ資源

近年のロシアのサケ資源を支えている注目すべき地域として，アムール川があります．アムール川系のサケの来遊数は，2000 年代後半から著しく増加しています（図 3）．ロシアのサケ来遊数に占めるアムール川系の割合は，2000 年代前半には 10%以下でしたが，2009 年以降は 30～60%に増加し，アムール川系の貢献度が明らかに増大しています．アムール川系の漁獲量は 1990 年代後半には 1,000～3,000 トン程度しかなく，サケ資源は危機的な状況にあると考えられていましたが（大熊・鈴木 2002），2014 年には過去 100 年間で最大の 35,747 トンの漁獲量を記録するなど，今となっては信じられないくらいです．

アムール川は，ユーラシア大陸の北東部を流れる延長 4,400 km におよぶ世界有数の大河であり，夏サケと秋サケの 2 系統のサケが遡上することで有名です（大熊・鈴木 2002; 斎藤 2003）．アムール川水系にはサケの産卵場となる巨大な支流が複数あり，それらの支流は著しく発達した網状流路を有しています（図 4）．2012 年にアムール川支流アニュイ川を視察した際，発達した網状流路がサケの重要な産卵場となっていることが分かりました（森田 2013）．また，アムール川で自然産卵する野生サケには，体高が高い雄サケも見られました（図 5）．

アムール川系のサケの回遊経路は，日本系のサケと異なることが知られています（近藤ら 1965; Myers et al. 1996）．日本系のサケの索餌海域はベーリング海ですが，アムール川系のサケは，初夏に日本近海を索餌回遊します（図 6）．そのため，トキシラズ（時不知，時鮭）として日本でも漁獲されています．

ロシアのサケが高位水準である理由

ロシアのサケ資源が高位水準にある理由として，近年の地球温暖化の影響が考えられます．温暖化は分布北限に近い個体群にはプラスに作用するのに対し，日本のような分布南限に近い個体群には

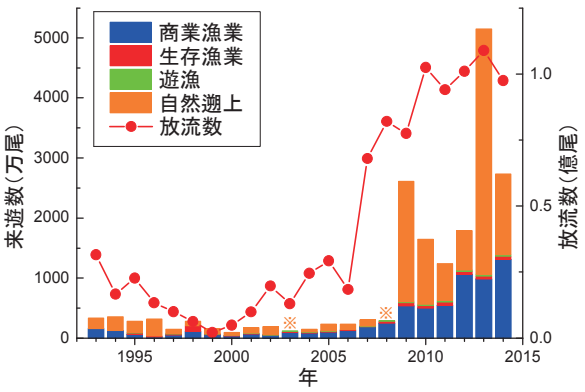

図 3. アムール川系のサケ来遊数と放流数
（※2003 年及び 2008 年は自然遡上数が未報告）．

図 4. アムール川支流ウスリー川（航空機より撮影）．発達した網状流路が見られる．

図 5. アムール川支流アニュイ川に遡上した体高の高い雄サケ．

マイナスに作用すると指摘されているからです．しかし，日本国内の状況を細かく見ると，太平洋側の南限である利根川でサケの回帰数が増加する傾向にあったり（斉藤 2013），2014 年の道県別の単純回帰率は宮城県が 5.2%と最も高かったり，必ずしも南限域で来遊数が減少している訳ではありません．

また，ロシアのサケ資源の増加は，放流数の増加だけでは説明できないと述べましたが，放流と自然再生産が上手く組み合わさって資源が増加している可能性も考えられます．この点については，本誌本号の大熊ら（2016）をご覧頂ければと思います．

おわりに

本稿では，日本で最も漁獲量が多いサケ属魚類であるサケについて，ロシアの状況を紹介してきました．ロシアで最も漁獲量が多いのはカラフトマスで，サケに次いでベニザケも多く漁獲されています．本稿では他のサケ属魚類の資源動向については割愛しますが，最後に，ロシアでギンザケの来遊数が急増していることを付記したいと思います．ロシアのギンザケ資源は，2000 年代中頃まで減少傾向にありましたが，最近 10 年間で急激に増加しました（図 7）．ギンザケと生活史が類似しているサクラマスの漁獲量も，北海道オホーツク・太平洋側で同調する傾向にあり，海洋環境などの影響によるものかも知れません．

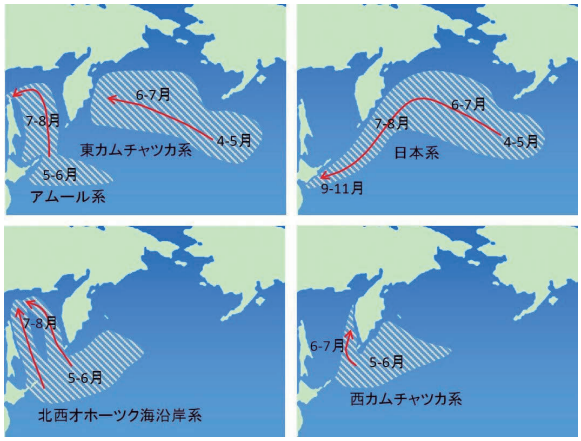

図 6. アジア系サケ成魚の回遊経路（近藤ら 1965 を改変）．

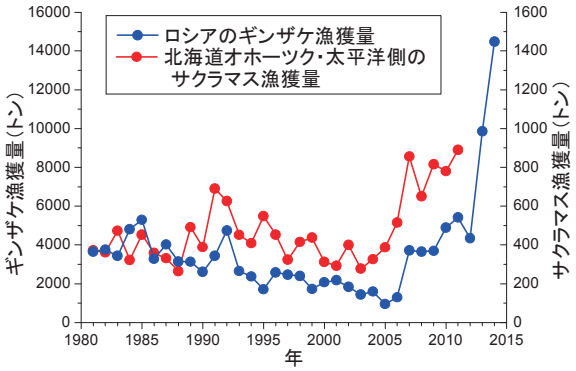

図 7. ロシアのギンザケ漁獲量と北海道オホーツク・太平洋側のサクラマス漁獲量の推移（サクラマス漁獲量は道総研さけます・内水面水産試験場のマス資源動態・生物統計調査の資料に基づく）．

引用文献

本田良一．2013．日ロ現場史．北海道新聞社，札幌．611 pp.

近藤平八・平野義見・中山信之・三宅　真．1965．標識放流試験からみた太平洋さけます（genus Oncorhynchus）の沖合分布と回遊（1958～1961）．北太平洋漁業国際委員会研究報告，17: 1-193.

森田健太郎．2013．アムール川支流の野生サケ産卵場を視察．日本水産学会誌，79: 483.

Myers, K.W., Aydin, K.Y., Walker, R.V., Fowler, S., and Dahlberg M.L. 1996. Known ocean ranges of stocks of Pacific salmon and steelhead as shown by tagging experiments, 1956-1995. NPAFC Doc. 192. 4 p. + figs. and appends.

永沢　亨．2015．56 さけ・ます類の漁業と資源調査（総説）．「平成 26 年度国際漁業資源の現況」（水産庁編）水産庁・水産総合研究センター，東京．URL: http://kokushi.fra.go.jp/index-2.html,（参照 2015-12-04）．

大熊一正・鈴木俊哉．2002．アムール川の秋サケ―2000 年の日ロ共同調査結果概要とアムール川サケ資源の現状―．さけ・ます資源管理センター技術情報，168: 33-46.

大熊一正・長谷川功・佐藤俊平・岸　大弼・市村政樹・飯田真也・森田健太郎．2016．平成 27 年度さけます資源部第 1 回連絡会議ワークショップ「野生魚を活用した持続可能なさけます漁業と増殖事業」．Salmon 情報，10: 30-37.

斎藤寿彦．2003．ロシア，アムール川における夏サケ調査．さけ・ます資源管理センター技術情報，169: 33-48.

斎藤寿彦・平林幸弘・渡邉久爾・鈴木健吾．2015．58 サケ（シロザケ）日本系．「平成 26 年度国際漁業資源の現況」（水産庁編）水産庁・水産総合研究センター，東京．URL: http://kokushi.fra.go.jp/index-2.html,（参照 2015-12-04）．

斉藤裕也．2013．利根川のサケはどのように増えたのか．ぐんまの自然の「いま」を伝える報告会 2012 要旨集，群馬県立自然史博物館．pp. 9-10. URL: http://www.gmnh.pref.gunma.jp/research/2012/,（参照 2015-11-08）．

トピックス

石狩川上流域における野生サケ資源回復の試み

伴（ばん） 真俊（まさとし）（北海道区水産研究所　さけます資源部）

はじめに

かつて，石狩川は日本で有数のサケの遡上河川でした．明治時代の初期（1868-1889 年）には，50 カ所余りの漁場で 50-150 万尾が漁獲されています（進藤 1935）．この頃，成熟した魚は石狩川の河口から約 150 km 上流の旭川市周辺まで遡上し産卵していました（瀬川 2003）．その後，捕獲数は河川環境の悪化や乱獲，極端な水温の低下等の影響により（藤田 1935），1910 年代には約 11 万尾，1950 年代には約 1 万尾へと漸減します（北海道さけ・ますふ化事業百年史編さん委員会 1988）．さらに，河口から約 120 km 上流の深川市に農業用取水堰（旧花園頭首工）が建設されると（1964 年），石狩川上流域へのサケの遡上は完全に途絶えてしまいます．

しかし，取水堰の右岸側（2000 年）と左岸側（2011 年）にそれぞれ魚道が整備されたため，魚は再び上流域への移動が可能になりました．これを機に，北海道区水産研究所（当時の水産総合研究センター　さけますセンター）は，ふ化放流と天然産卵を組み合わせた石狩川上流における野生サケ資源の回復，および持続的な再生産管理技術の開発を目的とした大規模な稚魚放流を行いました．2009 年から 2011 年の 3 年間に亘る放流試験では，当所の千歳さけます事業所（以下，千歳事業所）で飼育した 50 万尾の稚魚（表 1）を旭川市周辺に位置する石狩川支流の忠別川と愛別川へ輸送し，等分して放流しました（図 1）．野生魚と区別するため，全ての放流魚には耳石温度標識を施すとともに，一部の個体には脂鰭切り標識も付けました．この試験を始めた経緯と概要は鈴木（2010）に纏められています．本稿では，放流効果を確かめるために石狩湾沿岸と放流地点の周辺で行った標識魚の調査結果を紹介します．

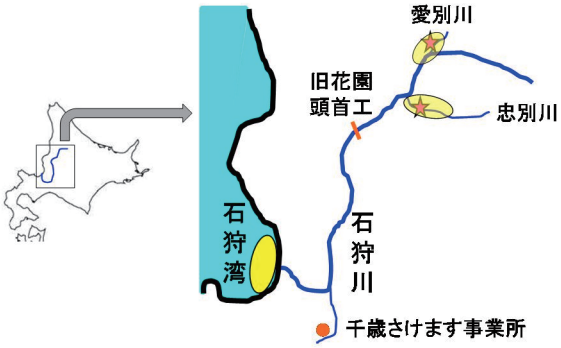

図 1. 試験魚の放流地点（星印）と標識魚の調査範囲（黄色丸）．

石狩湾沿岸における標識魚調査

放流魚を育てた千歳事業所は石狩川の河口から約 80 km 上流に位置しますが，石狩川上流の放流地点は河口から約 150 km の距離があります．石狩川上流から放流された魚（以下，石狩川上流群）は千歳事業所からの放流魚（以下，千歳事業所群）に比べて海へ降りるまでの移動距離が約 70 km 伸びるため，稚魚の降海時期や親魚の回帰状況に影響する可能性があります．千歳事業所が石狩湾の厚田沿岸で曳き網によるサケ稚魚採捕調査を行ったところ，2009 年 4 月 30 日と 5 月 11 日，および 2011 年 5 月 6 日に合計 3 個体の石狩川上流群を採捕しました．これらの個体の体重は，放流されてから採捕されるまでの 36-47 日間に 1.4-2.1 g に増えていました．一方，同じく 3 月下旬に放流された千歳事業所群も 4 月下旬から 5 月下旬にかけ同海域で 24 尾が採捕され，その平均体重は 1.7 g でした（千歳事業所資料）．採捕調査の間隔が旬 1 回であり，石狩川上流群の採捕数が少ないことから厳密な比較はできませんが，ほぼ同一時期

表 1. 忠別川と愛別川に放流された標識魚．

採卵年月日	放流年月日	放流魚体重	放流尾数	
			忠別川	愛別川
2008/10/27	2009/03/25	0.79 g	250千尾	250千尾
2009/10/28	2010/03/24	0.61 g	267千尾	267千尾
2010/10/22	2011/03/23	0.63 g	269千尾	269千尾

に放流された石狩川上流群と千歳事業所群の一部の個体は同時期に同じ海域を回遊し，それらはほぼ同様の大きさに成長していたことが分かりました．

次に，石狩川上流群が親として石狩湾沿岸に来遊する時期を把握するため，定置網で漁獲された標識魚の数を旬毎に調べました．図 2 には，2013 年の 9-11 月に石狩湾の定置網で漁獲されたサケの数と，そのなかから選別した標識魚の数を示しています．漁期は 9 月上旬-11 月上旬ですが，漁獲数は 9 月下旬から 10 月中旬が多く，全体の 71% を占めました．一方，石狩川上流群も類似した傾向を示しますが，こちらの群は全体の 92%が 10 月上旬の前後 1 旬に集中していました．同一日に採卵，あるいは放流された群は親として回帰する際もほぼ同一時期に集中して来遊することが予想されます．さらに，沿岸へ来遊した魚の成熟度を婚姻色の発現状態で判定してみました．図 3 には判定の基準とした婚姻色を示しています．S は体表が銀色の個体，B は婚姻色が現れ始めた個体，A はそれらの中間の個体です．この基準に基づき，2013 年の盛漁期である 10 月上旬の前後 1 旬に厚田沿岸で漁獲された魚から無作為に抽出した 302 個体（千歳事業所資料）と，鰭切り標識により石狩川上流群と判定した 37 個体について調べたところ，石狩川上流群は約 97%が S に分類され，B は確認できませんでしたが，無作為に抽出した群は S が少なく，約 60%が A，約 40%が B に分類されました（図 4）．この年，石狩川上流群は他地域由来の魚に比べて沿岸到達時の成熟度が低かったことが推察されます．この結果が、特異的なのか恒常的なのかは今のところ明らかではありません．採集した魚については婚姻色だけでなく筋肉内脂肪量や生殖腺体指数等の解析も進めており，今後はそれらの情報を加味しながら，年変動の有無も含めて親魚の回帰実態をより詳細に把握する予定です．

石狩川上流における遡上魚と産卵床の調査

今回の試験では，大規模な人工ふ化放流を行うことで，失われた野生資源を復活させることを期待しています．そのためには，放流魚を起点にした自然再生産の循環が定着する必要があります．この点を確かめるため，石狩川上流では遡上魚の回帰状況と産卵床の形成状況，産卵後の魚から回収した耳石温度標識の有無等について調べました．調査は 9-12 月の毎旬 1 回を基本に，忠別川と愛別川の放流地点周辺で行っています（図 1）．

2014 年に目視観察した遡上魚の数と産卵床数の旬別推移を図 5 に纏めました．忠別川と愛別川ともに魚の遡上盛期は 10 月中旬-11 月中旬となり，

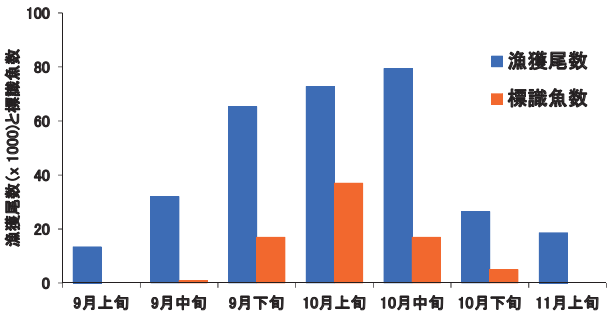

図 2. 2013 年秋季の石狩湾におけるサケの漁獲尾数と標識魚数.

図 3. サケの成熟度を婚姻色で判定するための基準.
S：婚姻色なし，A：薄い婚姻色，B：婚姻色有り.

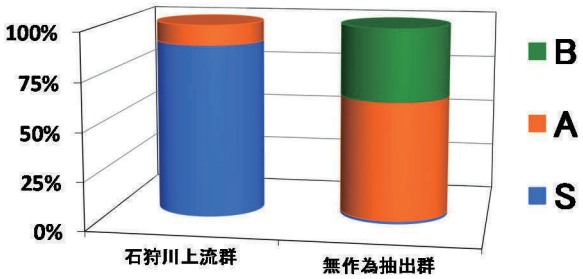

図 4. 2013 年の 9 月下旬から 10 月上旬に厚田沿岸の定置網で漁獲された石狩川上流群および漁獲魚から無作為に抽出した群の婚姻色の発現状況.
S：婚姻色無し，A：薄い婚姻色，B：婚姻色有り.

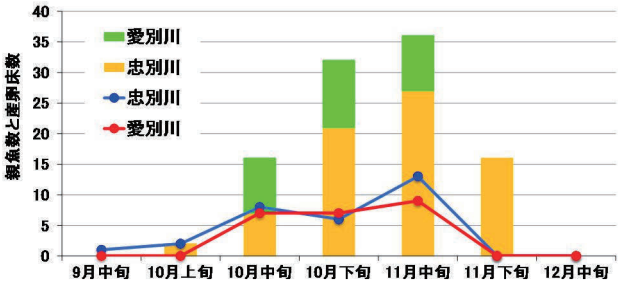

図 5. 忠別川と愛別川で計数した遡上魚数（折線グラフ）と産卵床数（棒グラフ）の推移

遡上した魚を受精させた 10 月下旬（表 1）の前後 1-2 旬に集中しています．また，忠別川の産卵床は遡上の盛期よりやや遅い11月中旬を中心に，10 月中旬から 11 月下旬まで形成されました．サケが遡上して産卵する時期は，その親が成熟した時期に概ね同期しているようです．本調査では産卵後に死亡した魚を計数するとともに、それらの耳石温度標識も調べています．2014 年は 91 尾を採集し，そのうち 75%の個体に標識を確認しました．このことから、現在のところ，調査した区域に回帰しているサケの多くは放流魚が占めているようです．しかし，今回は初めて無標識魚のなかに3個体の3年魚が現れました．もしかすると、これらの個体は最初に放流された魚が回帰して再生産した子孫かもしれません．

忠別川と愛別川で確認された産卵床はそれぞれ 73 個と 29 個でした．両河川とも，事前調査と過去の資料によると放流に適した場所と判断されていますが（鈴木 2010），同数の稚魚を放流したにも関わらず産卵床数には大きな違いが生じています．産卵床の分布を詳細に調べてみると，その多くは河床が広く流路も不規則で多様な構造を呈する川の分流側や，中州の縁辺部に形成されていました．忠別川は愛別川に比べ，放流点から石狩川本流に繋がる間に産卵に適した場所が広いのが特徴です．両河川に生じた産卵床数の差には，このような河川環境の違いが反映していると考えられます．

今回の調査では，産卵床が放流点を中心に上下流の少なくとも数 km の範囲に分散していることを確認しました．幾つかの産卵床で水温を測定したところ，本流に比べ 1-4℃程度高く，特に厳冬期の 2 月には差が大きくなる傾向がありました．同様の調査結果は有賀ら（2012）も報告していることから，遡上したサケは産卵場所を放流点に限定せず，冬期間も暖かい水が得られる場所を選定しているといえそうです．

おわりに

失われた野生サケ資源を回復させる試みとして石狩川上流から放流された魚の回帰状況を調べました．その結果，放流魚は順調に回帰し，放流場所を中心とした広範囲で再生産していることを確認するとともに，産卵場所に適した条件が明らかになってきました．また，私たちと旭川市の市民団体は春季に産卵床付近を目視観察し，多数の稚魚が浮上していることを確かめています（山田 2014）．これまでは主に放流魚の回帰実態を調査してきましたが，今後は浮上稚魚が放流魚の二世として回帰する状況や，本試験の目的である野生サケ資源の定着状況を継続して調べる必要があります．

謝辞

石狩川上流域におけるサケ稚魚の試験放流には，大雪と石狩の自然を守る会，旭川開発建設部，北海道上川支庁，旭川市，愛別町，東神楽町のご協力を頂きました．関係各位に改めて感謝申し上げます．

引用文献

有賀　誠・山田直佳・伊藤洋満・有賀　望・宮下一士．2012．石狩川上流におけるサケ *Oncorhynchus keta* の 2011 年の自然産卵状況-大規模放流個体群回帰 1 年目の報告-．旭川市博物科学館研究報告, 5: 47-57.

藤田經信. 1935．鮭の減耗したる原因に就いて．北海の水産, 68: 1-6.

北海道さけ・ますふ化事業百年史編さん委員会. 1988．河川別サケ・マス捕獲，産卵，放流数-石狩川．北海道鮭鱒ふ化放流事業百年史 統計編，北海道さけ・ますふ化放流百年記念事業協賛会，札幌. pp 205-213.

進藤延男．1935．石狩川の伝説と鮭で賑わった当時の石狩．北海の水産, 66: 46-56.

鈴木栄治. 2010．旭川でサケ稚魚 50 万尾を放流―石狩川本流サケ天然産卵資源回復試験―．SALMON 情報, 4: 22-24.

瀬川拓郎．2003．神の魚を追いかけて―石狩川をめぐるアイヌのエコシステム．エコソフィア, 11: 23-29.

山田直佳．2014．2013 年秋-2014 年春の石狩川上流・忠別川におけるシロザケの繁殖確認．旭川市博物館研究報告, 21，旭川市科学館研究報告, 10: 23-25.

トピックス

本州日本海域におけるマスノスケ・カラフトマスの特異的な漁獲

飯田 真也（日本海区水産研究所 資源管理部）

はじめに

近年，日本の近海に，普段は見慣れない魚や海藻が出現するようになりました．例えば，2013 年，北海道オホーツク海域において，今までほとんど漁獲されることのなかったブリ *Seriola quinqueradiata* が大量に水揚げされたことは，その顕著な事例と言えます（水産総合研究センター 2014）．本州日本海域では，サケ属魚類に関する特異的な漁獲が確認されました．以下，その詳細を報告します．

石川県能登半島におけるマスノスケの漁獲

マスノスケ *Oncorhynchus tshawytscha* は，北アメリカでは南カリフォルニア以北からベーリング海，アジアではカムチャツカ半島からオホーツク海に広く分布します（図 1A，Healey 1991）．本種には，浮上直後に降海する海洋型と，浮上後，複数年を河川で過ごした後に降海する河川型が存在し，両者は海洋で複数年過ごした後，母川で産卵します（Healey 1991）．サケ属魚類のなかで最も大きく，通常で全長 90 cm，体重 10 kg 程度，最大で全長 147 cm，体重 61 kg になった記録があります（内藤 2000）．北太平洋におけるサケ属魚類の漁獲量のうち，本種が占める割合は 1%以下と極めて低く，その資源量は少ないです（佐藤 2015）．

マスノスケを日本に定着させ，その産出量を増加させるため，明治初期以来，本種の発眼卵をアメリカ合衆国から移殖する事業が断続的に実施されてきました（深滝 1968）．新潟県三面川（図 1B）では，1881 年から 4 ヶ年にわたって移殖が行われ，その起源は明らかでないものの，1912 年 6 月 4 日，1958 年 6 月 9 日にそれぞれ全長 88cm，112cm のマスノスケが三面川において捕獲されました（深滝 1968）．また，北海道十勝川（図 1B）では，1959 年から 5 ヶ年にわたって移殖が行われ，標識調査によって，それらを由来とする親魚が十勝川へ僅かに回帰することが確かめられました（疋田 1965）．日本の沿岸域では，北海道や青森県など北日本を中心に僅かな漁獲が認められています（疋田 1965; 加藤ら 1982; 原子 1989）．例えば，2013，2014 年の北海道におけるマスノスケの漁獲数は，両年ともに 1,000 尾未満であり

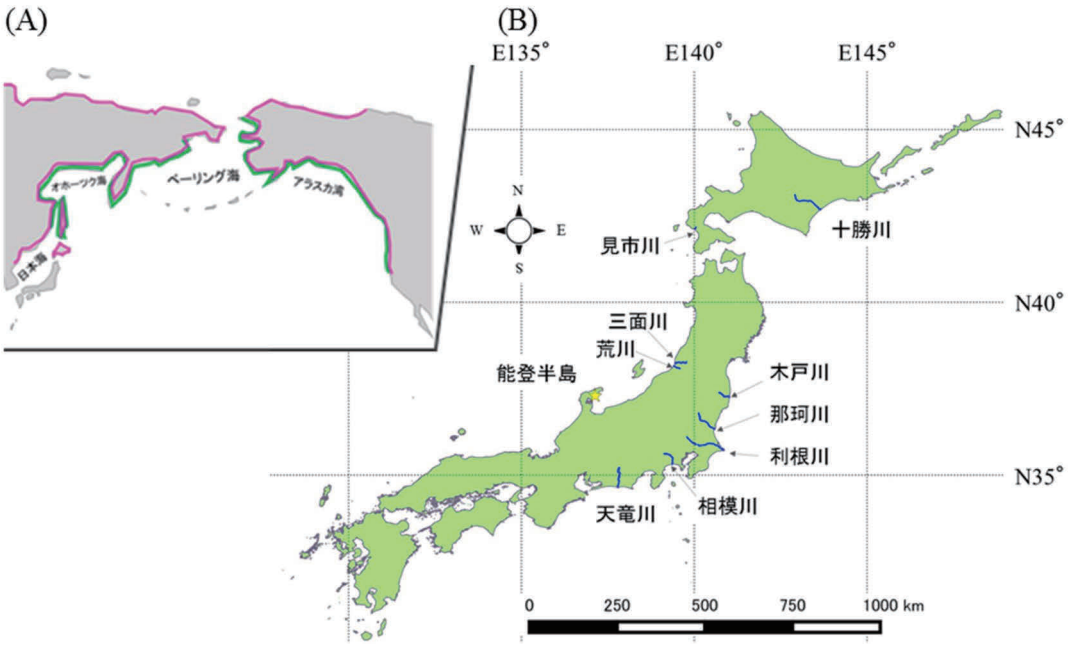

図 1. A）北極海，北太平洋におけるマスノスケ（緑色，Healey 1991 を改変）およびカラフトマス（ピンク色，Heard 1991 を改変）の主要な産卵河川の分布，B）マスノスケが漁獲された石川県能登半島（星印），カラフトマスが捕獲された新潟県荒川および本文中に記した河川の位置．

（Sasaki et al. 2014; Hirabayashi et al. 2015），それらはロシアの河川を起源とすることが有力視されています（牛尾 2003）．このように，本種のふ化放流効果は極めて低いことから，移殖放流は中止され，本種は日本に定着していないと考えられています（井田・奥山 2000; 内藤 2000）．

そのマスノスケが，2013 年 10 月 22 日，石川県能登半島波並の大型定置網にて漁獲されました（図 1B）．本種が日本海域において漁獲されることは極めて稀ですが（Zolotukhin 1997），同所では 1998 年 5 月に 2 尾のマスノスケが漁獲されており（辻 1999），15 年振りとなります．また，本州日本海域における同種の漁獲は，僅かながらも春期(3-6 月)に集中していましたが(辻 1999)，今回初めて秋期に漁獲されました．採集された個体は，尾叉長 62.3 ㎝，体重 3409.5 g，生殖腺重量 247.8 g の雄でした．標本として，頭部のみ入手することが出来ました（図 2）．前述のとおり，本種の生活史は複雑であり，鱗の輪紋観察による年齢査定には熟練を要します（Koo 1967）．そこで，本種の年齢査定に精通するアラスカ州漁業狩猟局（Alaska Department of Fish and Games）の Lorna Wilson 博士に解析を依頼しました．解析に供する鱗は，胸鰭の付け根から採取しました．なお，年齢査定に供する鱗は，本来，背鰭基部後端の直下で側線の上の 2~3 鱗列から採取することが推奨されますが（伊藤・石田 1998），本部位からの鱗でも解析可能であることが確かめられています（Clutter and Whitesel 1956）．Wilson 博士の査定によって，本標本は河川型であり，河川で約 1 年過ごして降海し，海洋で 2 回越冬した 2009 年級群であることが分かりました（図 3）．サケ科魚類の年齢表示にはいくつかの方法がありますが，淡水および海洋生活期の越冬回数を順番に記述するヨーロッパ方式に従うと（伊藤・石田 1998），本標本は 1.2 年魚となります．

本標本はどこで産まれたのか，その起源は非常に興味深いところです．現在，北米を中心にマスノスケのふ化放流事業が行われており，2009 年級放流群の一部には耳石温度標識が施されています（Josephson and Oxman 2009; Till 2009）．それら標識により，由来を特定出来ることが期待されましたが，本標本は残念ながら無標識でした．また，遺伝的手法による系群識別も，本標本のみを用いて行うことは困難であり（北海道区水産研究所，佐藤俊平博士，私信），これ以上，その地理的起源を探索することは出来ませんでした．なお，加藤ら（1982）は，本州日本海沿岸で漁獲される本種の起源を，日本海の大陸側南部に存在する河川であると推測していますが，確固たる証拠を欠いているのが現状です（辻 1999）．

図 2. 石川県能登半島で 2013 年 10 月 22 日に漁獲されたマスノスケの頭部（白枠）およびベーリング海で採集されたマスノスケの全身（2008 年 8 月 29 日採集）．

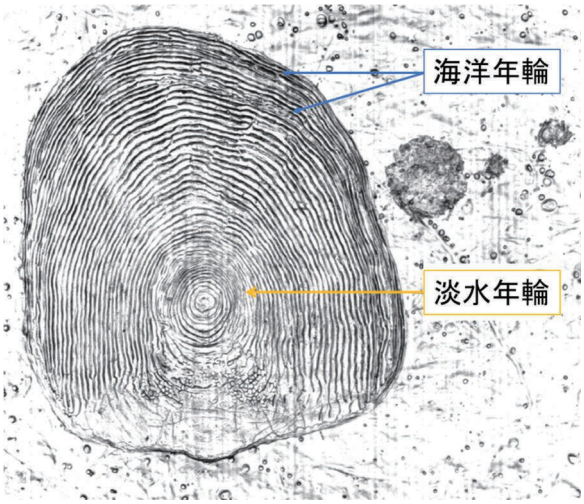

図 3. 石川県能登半島で漁獲されたマスノスケの鱗輪紋による年齢査定．Alaska Department of Fish and Games の Lorna Wilson 博士により，淡水および海洋でそれぞれ 1 年，2 年越冬した 2009 年級群（1.2 年魚）と判定された．

新潟県荒川におけるカラフトマスの捕獲

カラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* は，北緯 36 度以北の太平洋，ベーリング海，オホーツク海，日本海および北極海沿岸に広く分布します(図 1A，Heard 1991)．本種の資源量は，サケ属魚類の内で最も多く，北太平洋におけるサケ属魚類の漁獲量の約 7 割を占めます(佐藤 2015)．本種は，産卵床から浮上後，直ちに降海し，約 1.5 年間の海洋生活を経て成熟し，産卵します(Heard 1991)．また，本種は母川以外の河川へ頻繁に遡上することが確かめられています（藤原 2011）．日本におけるカラフトマスの遡上は，北海道，特にオホーツク海と根室海峡の河川が中心ですが（宮本 2003），本州太平洋地区でも数例の報告があります（星合・佐藤 1973; 帰山・疋田 1984; 手塚 1988; 原子 1989; 今井 2004）．それらを統括し，本種が比較的安定して遡上する河川の南限は，太平洋側が福島県木戸川（図 1B，稲葉 2005），日

本海側が北海道見市川（図 1B, 疋田・寺尾 1967）と考えられてきました．なお，迷入と考えられる単発的な遡上では，栃木県那珂川（図 1B，手塚 1988）神奈川県相模川（図 1B，今井 2004），静岡県天竜川（図 1B，天竜川漁業協同組合私信，今井 2004）で記録されています．

そのカラフトマスが，2014 年 7 月 29 日，新潟県荒川において，鮎を対象としたころがし釣り（引っ掛け）により捕獲されました（図 1B）．荒川は，大朝日岳を水源とする流路延長 73 km の一級河川です．本種の遡上時期は，北海道から南方に向けて早まる傾向があり，今回遡上が確認された荒川は，太平洋側の遡上南限にあたる福島県および単発的な遡上が確認された栃木・神奈川県の河川と同等に最も早い遡上を示しました（表 1）．残念ながら，この標本を入手することは出来ませんでしたが，タモ網の直径（約 35 cm）および成熟雄に特有な背部前方の盛り上がり（Heard 1991）が見られないことから，本個体は，尾叉長約 40 cm の雌であると判断されました（図 4）．本個体を捕獲した釣り人によれば，捕獲地点で同様の魚影を複数確認することが出来たとのこと．本個体が鮮明な婚姻色を示していること，尾鰭の下部がすり切れていることも加味すれば（図 4），荒川で産卵が行われた可能性があります．本種は，主に河川水が浸透する砂礫層に産卵します（小林 1968）．サケ科魚類の卵は高水温に弱く（Humpesch 1985; 片岡 2010），本種は 21℃以上で致死に至ります（Jonsson and Jonsson 2009）．捕獲当時，荒川の河川水温は 19.7℃であり，8 月上旬から 9 月上旬にかけては 20～24℃で推移しました（図 5）．これらを踏まえると，産卵が行われたとしても，それらが順調に生育することは極めて困難であったと考えられました．

おわりに

近年，地球温暖化の影響により，魚類の分布や資源量が変化することが指摘されています（水産総合研究センター 2009）．サケ科魚類は冷水性であり，暖かい水域に生息することは出来ません．そのため，地球温暖化に伴って，分布域は北上し，資源量は減少することが懸念されています（Jonsson and Jonsson 2009; Isaak et al. 2012）．例えば，サケ *Oncorhynchus keta* に関しては，ある温暖化シミュレーションに従った場合，100 年後，日本に生息しなくなることが指摘されています（Kaeriyama et al. 2012）．しかし，温暖化の影響はサケの分布南限域で甚大であると予想されるものの，太平洋側南限の利根川（図 1B）では，近年，サケが急激な増加傾向にあります（斉藤 2013）．また，今回紹介した 2 つの特異的な漁獲，特にカラフトマスについては，分布域が南に広がる傾向を示唆し，温暖化で予想される前述の現象と合致しません．これらのことは，温暖化の停滞現象（黒田ら 2015）や日本周辺の中層水温が低温化していること（安田・友定 2014）と関連するかもしれません．このように，温暖化がサケ科魚類へ与える影響は未だ不十分にしか把握されていません

表 1．カラフトマスの地域別遡上時期．

	7 月	8 月	9 月	10 月	文献
北海道		■	■	■	宮本 2003
青森		■	■	■	原子 1989
岩手	■	■	■		星合・佐藤 1973
宮城		■			帰山・疋田 1984
福島	■	■			稲葉 2005
栃木	■				手塚 1988
神奈川	■				今井 2004
静岡			■		今井 2004
新潟	■				本報告

＊灰色の領域は，カラフトマスが遡上する時期を示す．

図 4．新潟県荒川で 2014 年 7 月 29 日に捕獲されたカラフトマス。白枠は尾鰭の拡大．

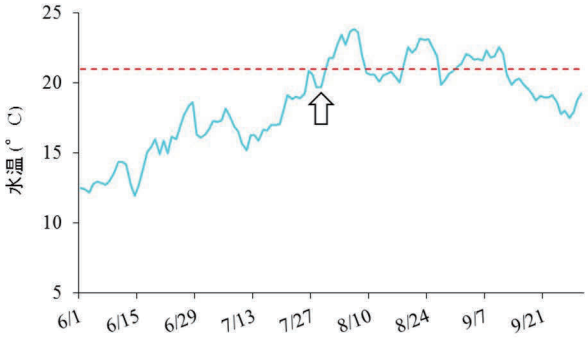

図 5．新潟県荒川の表層水温（青実線，2014/6/1～9/30）と発生初期におけるカラフトマスの致死水温（赤破線，Jonsson and Jonsson 2009）。白矢印は，カラフトマスの捕獲日を示す．

（森田 2015）．その影響を正確に評価していくためには，今後，生息場となる河川・沿岸水温の観測を強化することはもちろん，分布域の拡大・縮小など，包括的な監視を行う必要があります（Isaak et al. 2012）．

謝辞

石川県水産総合センターの辻俊宏氏には，石川県能登半島で漁獲されたマスノスケの魚体データおよび頭部標本を提供していただき，原稿に有益な助言を賜りました．新潟県荒川漁業協同組合の石黒昭夫氏には，荒川におけるカラフトマスの釣獲情報および写真を提供していただきました．北海道区水産研究所の佐藤俊平博士からは，マスノスケの遺伝的系群識別に関する助言をいただきました．また，同所の平林幸弘氏には北海道におけるマスノスケの漁獲情報を提供していただきました．最後に，Alaska Department of Fish and Games の Dion Oxman 博士，Bev Agler 博士，Lorna Wilson 博士からは，マスノスケの年齢査定および鱗画像の提供に惜しみない協力をいただきました．ここに記して，深く感謝申し上げます．

引用文献

Clutter, R. I., and Whitesel, L. E. 1956. Collection and interpretation of sockeye salmon scales. International Pacific Salmon Fisheries Commission, New Westminster, Canada. pp. 1-159.

独立行政法人水産総合研究センター．2009．地球温暖化とさかな．成山堂書店，東京. 216 pp.

独立行政法人水産総合研究センター．2014．海の異変　暑かった夏　2013 年、猛暑の影響．FRANEWS, 37: 2-14.

星合愿一・佐藤隆平．1973．本州太平洋岸の安家川に溯上したカラフトマスについて．魚雑, 20: 125-126.

深滝　弘．1968．日本海におけるマスノスケの分布南限とその起源に関する考察．日水研報, 19: 29-41.

藤原　真. 2011．カラフトマスの放流効果は？．北水試だより, 82: 17-19.

原子　保．1989．青森県太平洋域および下北半島沿岸域で採捕されたサケ科魚類について．昭和 62 年度青森県内水面水産試験場事業報告書, 48-50.

Healey, M. 1991. Life history of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). In Pacific salmon life histories (edited by C. Groot and L. Margolis), UBE Press, Vancouver. pp. 311-394.

Heard, W. R. 1991. Life history of pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*). In Pacific salmon life histories (edited by C. Groot and L. Margolis), UBE Press, Vancouver. pp. 119-230.

疋田豊彦．1965．十勝川及び日高沿岸で再捕されたマスノスケ成魚と幼魚．さけ･ますふ研報, 19: 43-47.

疋田豊彦・寺尾俊郎．1967．千歳川で再びカラフトマス捕らる（短報）．さけ・ますふ研報, 21: 77-79.

Hirabayashi, Y., Saito, T., and Nagasawa, T. 2015. Preliminary Statistics for 2014 Commercial Salmon Catches in Japan. NPAFC Doc. 1585. 2 pp.

Humpesch, U. H. 1985. Inter-and intra-specific variation in hatching success and embryonic development of five species of salmonids and *Thymallus thymallus*. Archiv für Hydrobiologie, 104: 129-144.

井田　齊・奥山文弥．2000．サケ・マス魚類のわかる本．山と渓谷社，東京. 247pp.

今井啓吾．2004．相模川で捕獲されたカラフトマス．神奈川県自然誌資料, 25: 13-14.

稲葉　修．2005．淡水魚類．原町市史第 8 巻特別編 I「自然」（小林清治編），福島県原町市. pp. 692-747.

伊藤外夫・石田行正．1998．鱗相によるさけ・ます類の種の同定と年齢査定．遠洋水研報，35: 131-154.

Isaak, D., Wollrab, S., Horan, D., and Chandler , G. 2012. Climate change effects on stream and river temperatures across the northwest US from 1980-2009 and implications for salmonid fishes. Climatic Change, 113: 499-524.

Jonsson, B., and Jonsson, N. 2009. A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon Salmo salar and brown trout Salmo trutta, with particular reference to water temperature and flow. J. Fish Biol. , 75: 2381-2447.

Josephson, R. P., and Oxman, D. S. 2009. Proposed Thermal Marks for Brood Year 2009 Salmon in Alaska. NPAFC Doc. 1162. 6pp.

帰山雅秀・疋田豊彦．1984．本州太平洋岸気仙沼大川にそ上したカラフトマス．さけ・ますふ研報, 38: 79-82.

Kaeriyama, M., Seo, H., Kudo H., and Nagata, M. 2012. Perspectives on wild and hatchery salmon interactions at sea, potential climate effects on Japanese chum salmon, and the need for sustainable salmon fishery management reform in Japan. Env. Biol. Fish., 94: 165-177.

片岡佳孝．2010．ビワマス受精卵のふ化および浮上におよぼす水温の影響．平成 20 年度滋賀県

水産試験場事業報告, 159-160.
加藤史彦・山洞　仁・野田栄吉. 1982. 日本海におけるマスノスケの漁獲記録. 日水研報, 33: 41-54.
小林哲夫. 1968. サケとカラフトマスの産卵環境. さけ・ますふ研報, 22: 7-13.
Koo, T. 1967. Objective studies of scales of Columbia River and chinook salmon, *Oncorhynchus Tshaivytscha* (Walbaum) Fishery Bulletin, 66: 165-180.
黒田　寛・三寺史夫・西田芳則. 2015 北海道周辺の海洋環境変化. 水産海洋研究, 79: 334-335.
宮本真人. 2003. カラフトマス *Oncorhynchus gorbuscha* (Walbaum). 漁業生物図鑑　新　北のさかなたち（上田吉幸・前田圭司・嶋田宏・鷹見達也編）, 北海道新聞社, 札幌. pp. 142-145.
森田健太郎. 2015. 水温に左右されるサケ科魚類の生活～地球温暖化の影響を考えるために～. SALMON 情報, 9: 1-9.
内藤一明. 2000. マスノスケ *Oncorhynchus tshawytscha* (Walbaum). 漁業生物図鑑　新　北のさかなたち（上田吉幸・前田圭司・嶋田宏・鷹見達也編）, 北海道新聞社, 札幌. pp. 146-147.
斉藤裕也. 2013. 利根川のサケはどのように増えたのか. ぐんまの自然の「いま」を伝える報告会 2012 要旨集, pp. 9-10.
Sasaki, K., Saito, T., and Nagasawa, T. 2014. Preliminary statistics for 2013 commercial salmon catches in Japan. NPAFC Doc. 1515. 2 pp.
佐藤恵久雄. 2015. 北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖. SALMON 情報, 9: 42-43.
手塚　清. 1988. 栃木県の那珂川にそ上したカラフトマス. 栃木県水産試験場業務報告, 33: 116.
Till, J. 2009. Proposed Thermal Marks for Salmon from British Columbia for Brood Year 2009. NPAFC Doc. 1165. 3pp.
辻　俊宏. 1999. 日本海でのマスノスケ再考. 日本海区水産研究所連絡ニュース, 387: 1-3.
安田一郎・友定　彰. 2014. 日本周辺の海域の温暖化の特徴. 水産海洋研究, 78: 205-208.
牛尾裕美. 2003. 日本における溯河性魚種の漁獲に関する一考察. 東海大学紀要海洋学部, 1: 117-124.
Zolotukhin, S. F. 1997. Occurrence of Chinook Salmon, *Oncorhynchus tschawytscha*, in the Sea of Japan. J. Ichthyol., 37:200-201.

さけます情報

サケ科魚類のプロファイル-14　ビワマス

藤岡（ふじおか） 康弘（やすひろ）（滋賀県水産試験場・滋賀県立琵琶湖博物館）

ビワマス *Oncorhynchus* sp.は，外部形態がサクラマス *Oncorhynchus masou masou* やサツキマス（アマゴ）*Oncorhynchus masou ishikawae* とよく似ており，分布域がサツキマスと重なることや稚魚期に体側に朱点があることから，以前はサツキマスと同種と考えられていた（大島 1957，図 1）．しかし最近では，細部の形態的差異や遺伝学的研究などから別種に位置づけられているものの，現在のところまだ種名は確定していない（細谷 2013）．

図 1. ビワマス成魚．体側は銀白色で背部には黒点が散在する．

分布と生息域

ビワマスは分布が琵琶湖とその流入河川に限られており，琵琶湖固有種である（細谷 2013）．産卵期および仔稚魚期を除く一生の大半を琵琶湖内で過ごす（藤岡 2009）．琵琶湖では 6 月から 10 月に表層水（水深 0-10 m）の水温が 20℃を越え，表層付近では 25℃以上に達することから，浅い水域に一時的に出現することがあっても常時見られることはない．水深 15 m 以深は周年 20℃以下の水域が広がってビワマスの主な生息域となっている（Kamimura and Mitsunaga 2014）．11 月から 5 月は全域が 20℃以下となって生息域が広がる．河川生活期の稚魚は，安曇川や姉川など琵琶湖北湖に流入する河川の中下流域に分布し，上流域に生息するイワナ *Salvelinus leucomaenis* やアマゴと分布域が重なることはほとんどない．

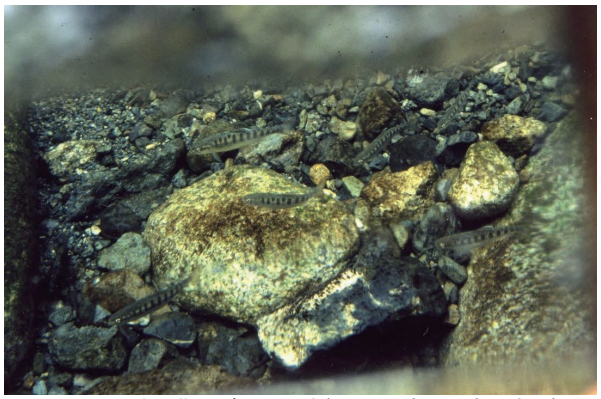

図 2. 河川生活期のビワマス幼魚．川の流芯で流下する餌生物を活発に捕食している．体側には朱点があり，外見からのアマゴとの判別は難しい．

生活史

ビワマスの繁殖期は 10 月から 12 月までの 3 か月間で，産卵盛期は 11 月である（尾田ら 2008）．琵琶湖から産卵河川への親魚の遡上は 9 月に始まり，降雨により河川が増水した時に多く見られる．他のサケ科魚類と同様に，ビワマスにも母川回帰性があると考えられるが詳細はまだ不明である．6～7 月にも河川に遡上する少数の個体があることが昔から知られており，夏を中流域の淵で過ごす（小林・戸田 1806）．産卵床は雌によって主に中流域の淵尻や平瀬に形成され，水深 20～30 cm，流速 20～50 cm/sec の場所がよく利用されている（尾田・原田 2013）．

稚魚は 3 月を中心に 2～4 月に体長 25 mm ほどで産卵床から浮上し，当初は川岸でトビムシなど流下する小型の陸生昆虫を食べている（藤岡・上西 2006）．体長 50 mm を越えると瀬に出て流下する水生昆虫の幼虫などを食べ，6 月に 70 mm を越え 7 月には 100 mm 以上の個体が見られる（図 2）．この間，4 月下旬から体長 38 mm 以上の個体が琵琶湖で捕獲されるようになり，50～70 mm で多くの個体が川から湖に降下する．特に，5～6 月に降雨で河川が増水すると増水規模に比例して稚魚の降下が起こる（Fujioka et al. 1990）．降下直前の稚魚の体色は，グアニンが少し沈着しているもののパーマークがまだ鮮明に見られる．しかし，降下後には急激に銀白色が強まっていわゆる「スモルト」に近い体色に変化している（藤岡・伏木 1988，図 3）．降下時に血液中の甲状腺ホルモン濃度の一過性の上昇は見られるが（Fujioka et al.

1990)，海水適応能の上昇は認められず降海型サケ科魚類のスモルト化とは異なっている（Fujioka and Fushiki 1989）．琵琶湖へ降下した幼魚は，速やかに沖合の深い水域へ移動して湖中生活を始める．

ビワマス幼魚の一部には，琵琶湖へは降下せず 7 月以降も河川に留まる個体があり，これらの個体は雄でその年の秋には成熟し産卵に加わる（図 4）．この雄はサクラマスやアマゴでも見られる早熟雄と呼ばれるもので，池を用いた飼育実験から幼魚の 5%程度は出現する可能性が明らかになっている（藤岡 2009）．ビワマス早熟雄の成熟期間は 10 月から翌年 2 月と 5 か月間に及び，産卵期の 10～12 月よりも長く持続する現象が報告されているが，その生物学的な意味は不明である．

琵琶湖へ降下した個体は，最初の数か月間は琵琶湖の固有種であるアナンデールヨコエビ *Jesogammarus annandalei* ばかりを食べている．これはビワマス幼魚の生活する琵琶湖の深層域に豊富に生息していることに加え，遊泳力などから捕食し易いためではないかと思われる．翌年の春には 15cm ほどになっており，餌としてアユなどの魚類を食べる割合が徐々に増加していく．その後，アユの資源量が多いと主にアユを食べながら，アユの少ない年はアナンデールヨコエビなどを食べて生活している．孵化後の成長は，おおよそ 1 年目の秋に 12 cm，2 年目に 20~35 cm，3 年目に 30～45 cm, 4 年目に 35～50 cm, 5 年目に 40～55 cm, 6 年目に 50～60 cm である（田中 2011）．この間に雌雄とも主に満 3 年から 5 年で成熟し産卵後は雌雄とも死亡する．サクラマスで知られる産卵時の雌雄の体サイズ差は，ビワマスでは認められないと言われている（尾田ら 2011）．池で飼育したビワマスは天然魚ほど大きくならないが満 2 年と 3 年ですべて成熟して産卵する．一方で天然のビワマスは多くが 4 年以上にわたり成熟せず成長する．成熟年齢がどのように決まるのかは全く判っていない．産卵する雌の卵母細胞は，少なくともその年の 3 月頃から発達を始め，6 月以降に急激に大きくなる．8 月頃，それまで銀白色であった体色に赤紫色が現れ始め，10 月にかけてその濃度が濃くなっていく．産卵時には黒色と赤紫色の横縞模様が現れ，雄では上下の顎が湾曲した「鼻曲がり」が見られる（図 5）．

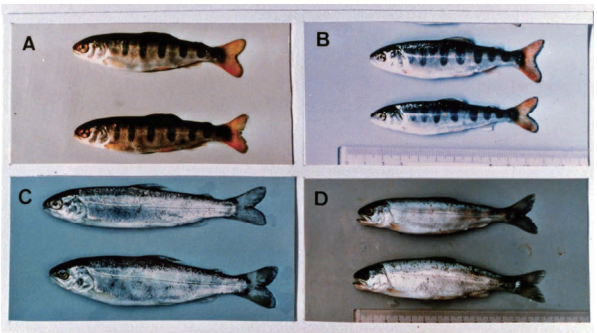

図 3. 降河期のビワマス幼魚の体色変化．A:河川生活期 5 月の稚魚．B:河川生活期 6 月の幼魚．C:降湖直後 6 月の幼魚．D:湖中生活期 10 月の未成魚．


図 4. ビワマス河川残留の早熟雄．


図 5. ビワマス成熟魚．上 2 個体が雄，下 2 個体が雌．

資源の利用

ビワマスは比較的大きく成長し食味が良いことから，古来より琵琶湖漁業の重要な対象種となってきた．琵琶湖を回遊するビワマスの漁獲法としては，大正期までは延縄や刺網が行われていたが，現在では延縄は行われていない．琵琶湖で使用される刺網は丈が 5 m ほどの長小糸網と呼ばれるもので，主に初夏から夏に水深 5~30 m 付近に設置して漁獲が行われる．この時期に琵琶湖では表層の水温が上昇して水深 15 m 前後に水温躍層が形成されるが，水温躍層付近には魚の餌となる動物プランクトンが多く，それを捕食するアユなどが多く生息していることから，これらの魚を狙ってビワマスが遊泳するものと考えられる．また，2006 年頃から遊漁者によりトローリングによる漁獲が開始され，その数は徐々に増加して届出者数は

2011 年に 409 人に達している（亀甲ら 2009； 菅原ら 2014）. 産卵期に河川に遡上する親魚の捕獲は，河口近くに設置された簗で行われるが，かつて琵琶湖流入河川の多くで行われていた「マス簗」による漁獲は，現在では安曇川だけとなっている（図 6）.

ビワマスの 115 年間の漁獲量変化を見ると，1940 年までは年間 50 トン以上漁獲されている年が多く，漁獲量の範囲は 35～144 トン/年であるが，1960 年以降は 13～53 トン/年と大きく減少している（図 7）. トローリングによる 2008 年から 2011 年の漁獲量は 7~9 トン/年で，全漁獲量の 15~22%/年を占めると推定されている（菅原ら 2014）.

図 6. 産卵遡上する親魚を捕獲するための安曇川のマス簗.

保全

ビワマス資源を増やす目的で 1878 年に現在の米原市に県営枝折孵化場が設置され，ビワマス増殖事業が開始された. また，人工採卵による孵化放流事業は 1883 年から始まり，現在も滋賀県漁業協同組合連合会によって続けられており，3 月に体長 5 cm ほどの個体 30~90 万尾が琵琶湖の流入河川の中流域に放流されている. 人工孵化放流によるビワマス資源への貢献度については，1996 年の調査で満 1 歳魚の資源 39 万尾のうち 16%が放流由来であったとされていることから，天然の再生産が多くを占めているものと考えられる（尾田 2010）. しかしながら，琵琶湖流入河川のほとんどにダムなどの河川工作物が多数つくられ，ビワマスが中上流域まで産卵遡上できない状況にあり，河口近くの瀬で産卵する事例が見られる. ビワマス卵の発生は，水温 15℃以下でないと孵化率の低下などが起こることから，水温の低い中上流域まで遡上して産卵できるようにすることが必要である. また，近年の地球温暖化の影響などによる河川水温の上昇と琵琶湖周辺の降雪量の低下が見られ，それらの影響で稚魚の浮上時期が早まっている可能性が指摘されている（尾田 2014）. 琵琶湖流入河川の上流域にはアマゴが分布しているが，近年河川に放流された種苗から出現した降湖型アマゴへのビワマス遺伝子の浸透が報告されており，交雑を防ぐ対策が必要となっている（Kuwahara et al. 2012）.

琵琶湖は冬季に寒気で冷やされ比重の重くなった表層水が深層域に沈み込むことによって上下層の湖水が混合される全循環が起こるが，この時に溶存酸素も深層域に供給される. 近年，暖冬により冬季に気温が十分低下しない年があり，実際に暖冬の 2006 年には全循環が不十分となって深層域の溶存酸素量が低い水準で推移した. これまで

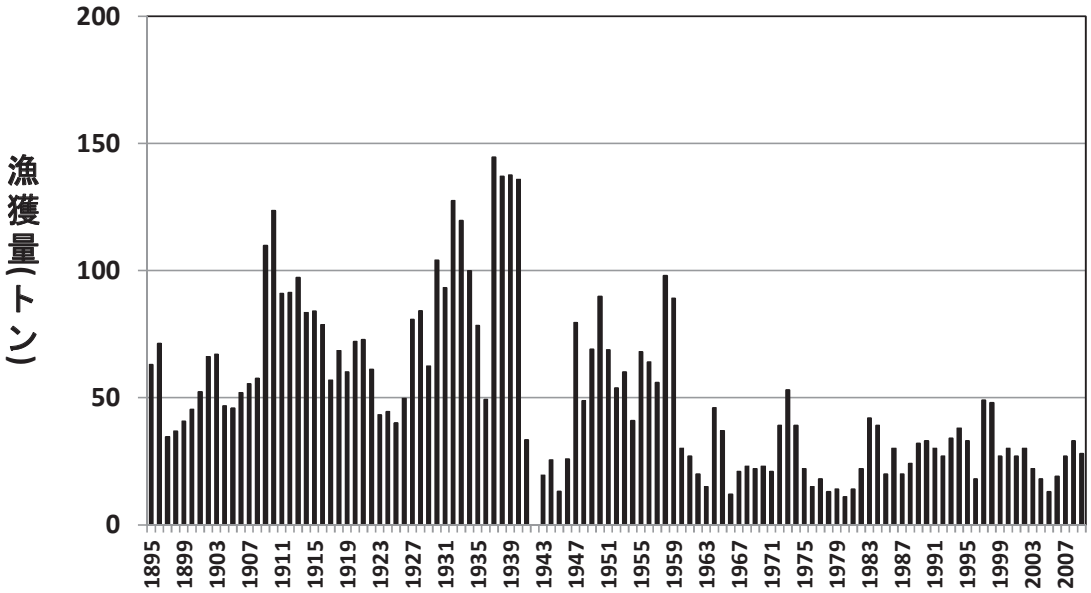

図 7. ビワマスの漁獲量の変化. 滋賀県統計書の漁獲統計より作図. 1953 年までは年度（4 月から翌年 3 月）の漁獲量を示す. 1942 年度の値は未公表.

も琵琶湖の深層域は富栄養化により溶存酸素量の低下傾向が指摘されており，さらに温暖化による暖冬傾向が進めば，全循環が不全となって環境条件が悪化し，ビワマスだけでなく琵琶湖の生物の存続自体が脅かされることになるものと危惧される．

参考文献

藤岡康弘．2009．川と湖の回遊魚ビワマスの謎を探る．サンライズ出版，彦根. 216 pp.

藤岡康弘・伏木省三．1988．ビワマス幼魚の降河と銀毛化．日水誌, 54: 1889-1897.

Fujioka, Y., and Fushiki, S. 1989. Seasonal changes in hypoosmoregulatory ability of Biwa salmon *Oncorhynchus rhodurus* and Amago salmon *O. rhodurus*. Nippon Suisan Gakkishi, 55: 1885-1892.

Fujioka, Y., Fushiki, S., Tagawa, M., Ogasawara, T., and Hirano, T. 1990. Downstream migratory behavior and plasma thyroxine levels of Biwa salmon *Oncorhynchus rhodurus*. Nippon Suisan Gakkishi, 56: 1773-1779.

藤岡康弘・上西　実．2006．ビワマスの成長に伴う生息場所と食物の変化．滋賀水試研報，51: 51-63.

細谷和海．2013．ビワマス．サケ目サケ科.「日本産魚類検索第 3 版」（中坊徹次編），東海大学出版会，秦野. pp. 367.

亀甲武志・西森克浩・井出充彦・関　慎介・二宮浩司・菅原知宏．2009．琵琶湖におけるビワマス引縄釣遊漁者を対象とした届出制の導入．日水誌, 75: 1102-1105.

Kamimura, H., and Mitsunaga, Y. 2014. Temporal and spatial distributions of Biwa Salmon *Oncorhynchus masou* subsp. by ultrasonic telemetry in Lake Biwa, Japan. Fish. Sci., 80: 951-961.

Kuwahara, M., Takahashi, H., Kikko, T., Kurumi, S., and Iguchi, K. 2012. Itrogression of *Onchorhynchus masou* subsp. (Biwa salmon) genome into lake-run *O.m. ishikawae* (Amago salmon) introduced into Lake Biwa, Japan. Ichthyol. Res., 59: 195-201.

小林義兄・戸田次郎右衛門. 1806．湖魚考．彦根藩，彦根. 42 pp.

尾田昌紀．2010．琵琶湖流入河川におけるビワマスの産卵床分布．日水誌, 76: 213-215.

尾田昌紀．2014．琵琶湖流入河川知内川におけるビワマスの産卵生態および稚魚の浮上について．応用生態工学, 16: 65-76.

尾田昌紀・秋葉健司・山本俊昭．2008．琵琶湖流入河川におけるビワマス *Onchorhynchus masou* subsp.の自然再生産について．陸水生物学報，23: 1-6.

尾田昌紀・岸野　底・原田泰志．2011．琵琶湖流入河川におけるビワマス遡上親魚の体サイズ．魚雑, 58: 171-175.

尾田昌紀・原田泰志．2013．琵琶湖流入河川石田川におけるビワマスの産卵場選択性について．魚雑, 60: 149-155.

大島正満. 1957．桜鱒と琵琶鱒．楡書房，札幌. 79 pp.

菅原知宏・井出充彦・酒井明久・鈴木隆夫・久米宏人・亀甲武志・西森克浩・関慎介．2014．琵琶湖における届出制によるビワマス引縄釣遊漁の現状把握．日水誌, 80: 45-52.

田中秀具．2011．琵琶湖におけるビワマスの資源構造に関する研究．滋賀水試研報, 54: 7-62.

さけます情報

さけます人工孵化放流に関する古文書の紹介(2)〈虹別編〉

野川（のがわ） 秀樹（ひでき）（北海道区水産研究所）

はじめに

前号では，北海道区水産研究所千歳さけます事業所（以下，「千歳事業所」）に保存されていた明治期のさけます人工孵化放流に関する古文書を紹介しました．今回は虹別さけます事業所（以下「虹別事業所」）に保存されていた古文書を紹介します．まず始めに，虹別事業所の沿革を紐解いてみたいと思います．なお，千歳及び虹別事業所の組織名については，度重なる名称変更による混乱を避けるため，その当時の名称ではなく，現在の名称をそのまま使用しました．

虹別事業所の地に，最初にさけます孵化場が建設されたのは明治 24 年のことで，漁業者（根室水産組合）によって建設されました．大正 15 年発行の要覧（北海道水産試験場 1926）に，「根室水産組合ハ人工孵化場設置ノ議ヲ起シ明治二十三年十一月北海道庁技官ノ指導ヲ受ケ西別川水源タル釧路国川上郡虹別村字シユクンベツニ適地ヲ相シ翌二十四年六月工事竣功シ諸設備ヲ完成セシメタリ.」と書かれています．

ここに書かれている北海道庁（以下，「道庁」）技官というのは千歳事業所の主任（現在の所長職に相当）であった藤村信吉のことで，藤村は明治 22 年に択捉島のベニザケ孵化場調査の帰途に，西別川上流の水源を調査し，これが端緒となり，藤村の技術的な指導や道庁の資金的な助成もあって，根室水産組合による一大孵化場の建設となります．場所は摩周湖に近接する西別岳の麓で（図 1），当時は周りに住む人もなく，時に熊が出没するような辺境の地でした（内海 1936）．

この孵化場は明治 40 年に道庁に寄付され，北海道水産試験場の所属となり，千歳事業所とともに二大官営孵化場として，北海道における黎明期のさけます人工孵化放流を牽引して行くことになります．

なお，北海道水産試験場と事業所の組織的な関係等については，前号を参照してください．

虹別事業所の建設は，千歳事業所の開設の数年後のことであり，千歳と同様に古い歴史を有していますが，古文書類は残念ながら大規模な施設整備などもあり，多くは残されていません．

ここでは，残された古文書の中から，明治期や大正期における人工孵化放流の状況を知ることのできる文書やくずし字の解読のことなどを紹介します．

図 1. 虹別事業所の位置.

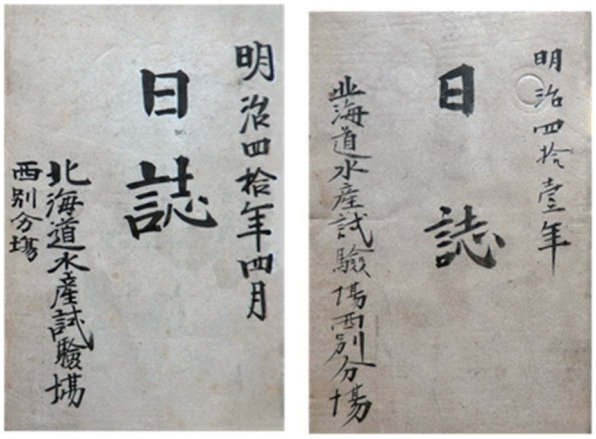

図 2. 明治 40 年，41 年の日誌.

明治期，大正期の古文書

最初に紹介するのは，官営孵化場となった明治 40 年と翌 41 年の日誌（図 2）です．日誌には日々の気候，業務内容，来所者等が記録されています．

明治 40 年の日誌から，西別川のサケの採卵は，9 月から翌年 2 月まで行われており，当時は 2 月の厳寒期にもサケが遡上し，採卵が行われていたことが分かります．冬期間は積雪による悪路に悩まされ，捕獲場（人工孵化放流に必要な親魚を採捕する場所）から事業所までの受精卵の運搬に長時間を要したことや生活物資の運搬に困難を極めた状況が，また，猛吹雪により，物資の運搬用として構内で飼育していた馬 5 頭が死亡したことも記述されており，過酷な環境の下で仕事や生活が行われていたことが知られます．

「明治四拾参年度　報告書類綴」（図 3）には，当時の管理状況が綴られています．サケに関する部分を略記すると，「明治 42 年 8 月 24 日から翌 43 年 2 月 9 日の間に採卵を実施し，受精卵約 344 万粒を孵化室に収容した．そのうち，死卵を除いた約 310 万粒が孵化した．孵化した仔魚は順次養魚池へ移し，養魚池には日覆板を架けた．稚魚の飼育では「わかさぎ」の粉末を煮蒸したものを，体重の千分の一の量を一日の量として，養魚池の池底に残餌が生じないように稚魚の群を注意深く観察して与えた．養魚池の排水部には網戸を設置していないので，稚魚は自由に流下して西別川に入り，明治 43 年 1 月上旬から 6 月 30 日の間に放流した．」とあり，飼育や放流の状況を知ることができます．ここに記述されている，日覆板（太陽光の仔魚への影響を避けるための遮光用の板）ですが，初めて使用されたのは明治 35 年，千歳事業所でのことでした（半田 1932）．この使用は仔魚の減耗抑制につながる画期的なことでしたが，虹別事業所で初めて使用されたのは，6 年後の明治 41 年でした．当時は新たな技術も容易には普及しなかったことが伺われます．

次に紹介するのは，大正 2 年に虹別事業所から福島県水産試験場へと行われたカラフトマス発眼卵 50 万粒の移殖に関するものです（図 4）．移殖に当たっては，受取人の派遣や経費などについて何度か文書のやりとりが行われています．これは最終確認のために試験場から発出された文書で，移殖日の一週間以上前に打電願いたいこと，輸送箱は全ては事業所で製作して欲しいこと，運送に使用する馬は何頭必要で，何処で雇入れるべきか，受取りに行く者は土地不案内なので特に注意すべきことはないか，などを照会しています．

移殖の結果報告には，路程や経費などの記録もあり，次のようなことが書かれていました．

事業所から釧路までは 2 日を要していますが，まず事業所から標茶までは馬で，標茶から釧路までは釧路川を船で運んでいます（位置関係は図 1 を参照）．事業所から標茶までの約 30 km は原始林と丈余（高さ 3 m あまり）の熊笹の中にアイヌの辿る細道がわずかにあるという状況であったこ

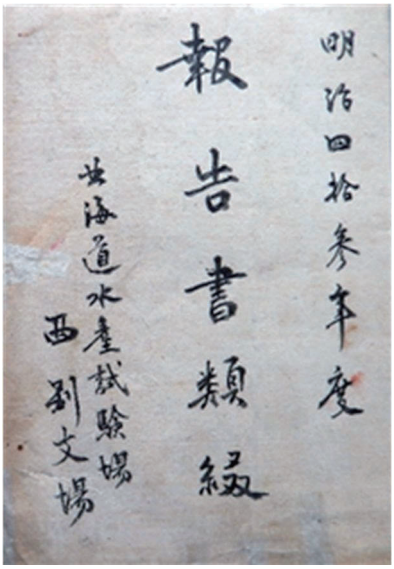

図 3. 明治 43 年度報告書類綴.

図 4. 福島県水産試験場からの照会文書.

とから（内海 1949），馬を連ねた険しくて過酷な運搬であったと推察されます．釧路からは汽車を利用し，事業所から福島県まで 5 日間かけて輸送しています．なお，移殖に要した経費は総額で 118 円 89 銭とあります．

今回紹介した文書の他にも，「明治四拾年度雑書綴」には，馬の飼育頭数に関する文書が，「明治四拾貳年　鮭鱒拂下関係書類」には，捕獲した鮭鱒親魚の払下に関する文書などが綴られています．また，次に紹介しますが，西別川のサケ親魚の捕獲に関する文書なども残されています．

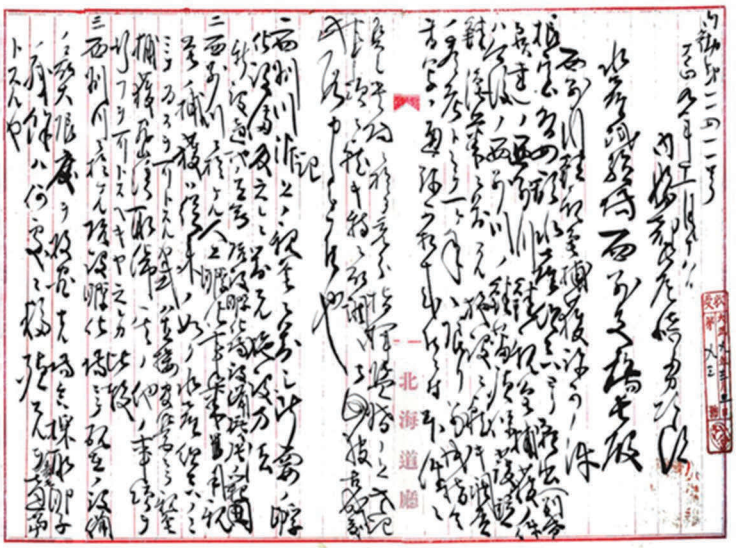

図 5. 道庁からの照会文書.

くずし字で書かれた古文書の解読

明治期や大正期の文書綴では，くずし字（字画を略して，くずして書かれた文字）の文書をしばしば見掛けます. 当時の状況を理解するためには，このくずし字の解読が欠かせません.

図 5 は大正 9 年に根室外四郡水産組合から道庁へ西別川のサケ親魚の捕獲に係る許可願が提出された際に，道庁が意見照会のために虹別事業所へ発出した文書です．くずし字で書かれています.

冒頭部分の解読文を載せました.

『内勧第一一四一一号
　大正九年十一月十八日
　　内務部長　尾崎勇次郎
　水産試験場西別支場長殿

西別川鮭親魚捕獲許可ノ件
根室外四郡水産組合ヨリ願出（別紙願書）ノ西別川鮭親魚捕獲ノ件ハ今後ノ西別川ノ鮭蕃殖保護現鮭漁業ニ関スル施設ニ就キ調査ノ参考トシテ一ケ年ニ限リ別紙指令書写ノ通許可相成候ニ付本件ニ関シ貴場ニ於テ充分指揮監督ノ上左記事項ニ就キ特ニ取調ヘ御回報相成度此段申進候也（以下略）』

西別川での人工孵化放流に関して，施設整備の必要性やその規模，また，西別川の親魚捕獲に関して，これまでどおり水産組合で実施するのが良いのか，それとも道庁直営で実施した方が良いのかなどを照会しています．これに対し，明治 43 年より今日まで 10 年間根室外四郡水産組合にて実施し，何等不都合がないこと，官営として実施するには事業所の予算や人員等では不可能なことから，これまでどおり民営で実施すべきと回答しています.

古文書から知る捕獲場の変遷

前述した明治 40 年，41 年の日誌に西別川の捕獲場として，シュワンプトとポンベツの 2 カ所の名称が出てきます．その場所や西別川の捕獲場の変遷をたどってみました.

人工孵化放流が開始された当初は，捕獲場は成熟した親魚の捕獲が可能な上流域に設置されました．しかし，昭和 20 年以降，河川内での不法漁獲（密漁）の増加や河川流域の開発に伴って，次第に河口域近くへ移転するという歴史をたどります（日本鮭鱒資源保護協会 1969）．西別川も例外ではなく，日誌にあったとおり，明治期には主にシュワンプトとポンベツの 2 カ所（図 6）で捕獲が行われ，その場所は河口から約 80 km も上流の事業所に近い場所でした（末武 1955；北海道鮭鱒保護協力会根室支部 1959）.

当初の捕獲場の選定には相当の苦労があったようで，その状況は末武（1955）に詳しく書かれていますが，それによれば，数年間にわたって事業所周辺で適地選定のための調査をし，明治 27 年にシュワンプト及びポンベツを適地と定め，本格的な捕獲施設を設置したとあります. この両捕獲場は昭和 27 年まで約 60 年間にわたって使用されました.

一方で，年々増加する密漁等に対応するため，両捕獲場に代わる新たな適地を求めて，西春別，西別など下流，下流へと場所を移して捕獲を試み，昭和 27 年に至って現在の場所（河口から約 13 km）

へ移転しました（図 6）．以後はここ一カ所で捕獲が行われています．

写真（図 7）は明治期のシュワンプト捕獲場のものです．左に親魚の溯上を遮断するための柵（ウライ）が写っており，その横の建物で採卵が行われました．

おわりに

二回にわたって千歳及び虹別事業所に残されていた明治期や大正期の古文書を紹介しました．当所にはこの他にも明治期から昭和初期にかけての復命書や写真などが所蔵されています．いずれもさけます人工孵化放流の沿革や技術の発展を知る上で貴重なものです．また，北海道立文書館などにもさけます人工孵化放流に関する古文書は所蔵されており，それらについても機会があれば紹介したいと考えています．

引用文献

半田芳男．1932．養魚池．鮭鱒人工蕃殖論，北海道鮭鱒孵化事業協会，札幌．pp. 173-177.

北海道鮭鱒保護協力会根室支部．1959．根室海区に於ける鮭ふ化事業，46 pp.

北海道水産試験場．1926．北海道水産試験場西別支場要覧，1 p.

日本鮭鱒資源保護協会．1969．事業．さけます増殖のあゆみ，星美社，東京．pp. 135-174.

末武敏夫．1955．失はれゆくシュワンプト．魚と卵，56 : 45-47.

内海　弘．1949．父の生涯．内海重左エ門伝，pp. 77-126.

内海重左エ門．1936．小池氏と根室国鮭鱒孵化事業創設当時の思ひ出．北海之水産，76 : 67-70.

図 6. 西別川の捕獲場の変遷.

図 7. 明治期のシュワンプト捕獲場.

＊本記事で紹介された資料の閲覧をご希望の際は，予め業務推進課へご相談ください．
連絡先：電話 011-822-2177 またはメールアドレス www-hnf-info@ml.affrc.go.jp

さけます情報

北太平洋と日本におけるさけます類の資源と増殖

加藤 雅博（北海道区水産研究所 業務支援課）

2014 年の北太平洋

漁獲数

2015 年の NPAFC 科学調査統計小委員会(CSRS)における各国の報告によると，2014 年 1-12 月の北太平洋の漁獲数は 3 億 9,202 万尾で，前年 5 億 8,602 万尾の 67%でした（図 1A）.

これを魚種別に見ると，カラフトマスが最も多い 2 億 1,083 万尾で全体の 54%を占めています．次いでサケが 9,740 万尾（構成比 25%，前年比 92%），ベニザケが 6,890 万尾（構成比 18%，前年比 139%）と続き，これら 3 魚種で全体の約 96%を占めています．ギンザケとマスノスケは，それぞれ 1,259 万尾（前年比 125%），222 万尾（前年比 136%）となりました（図 1A）．地域別では，ロシアが 1 億 7,172 万尾と最も多く，以下，アラスカ 1 億 5,782 万尾，日本 4,328 万尾，カナダ 1,484 万尾，アラスカ以外の米国（ワシントン，オレゴン，カリフォルニア，アイダホ州）421 万尾，韓国 15 万尾と続いています（図 1B）.

人工ふ化放流数

2014 年 1-12 月に各国から人工ふ化放流された幼稚魚数は 52 億 387 万尾で，前年 48 億 5,786 万尾の 107%でした（図 1C）.

魚種別ではサケが 31 億 6,548 万尾で 6 割以上を占め，これに次ぐカラフトマス 15 億 228 万尾と合わせると全体の 9 割近くを占めます(図 1C)．地域別では日本が 19 億 302 万尾，アラスカ 17 億 4,632 万尾，ロシア 9 億 6,915 万尾，アラスカ以外の米国 3 億 1,726 万尾，カナダ 2 億 3,986 万尾，韓国 2,825 万尾となっています（図 1D）.

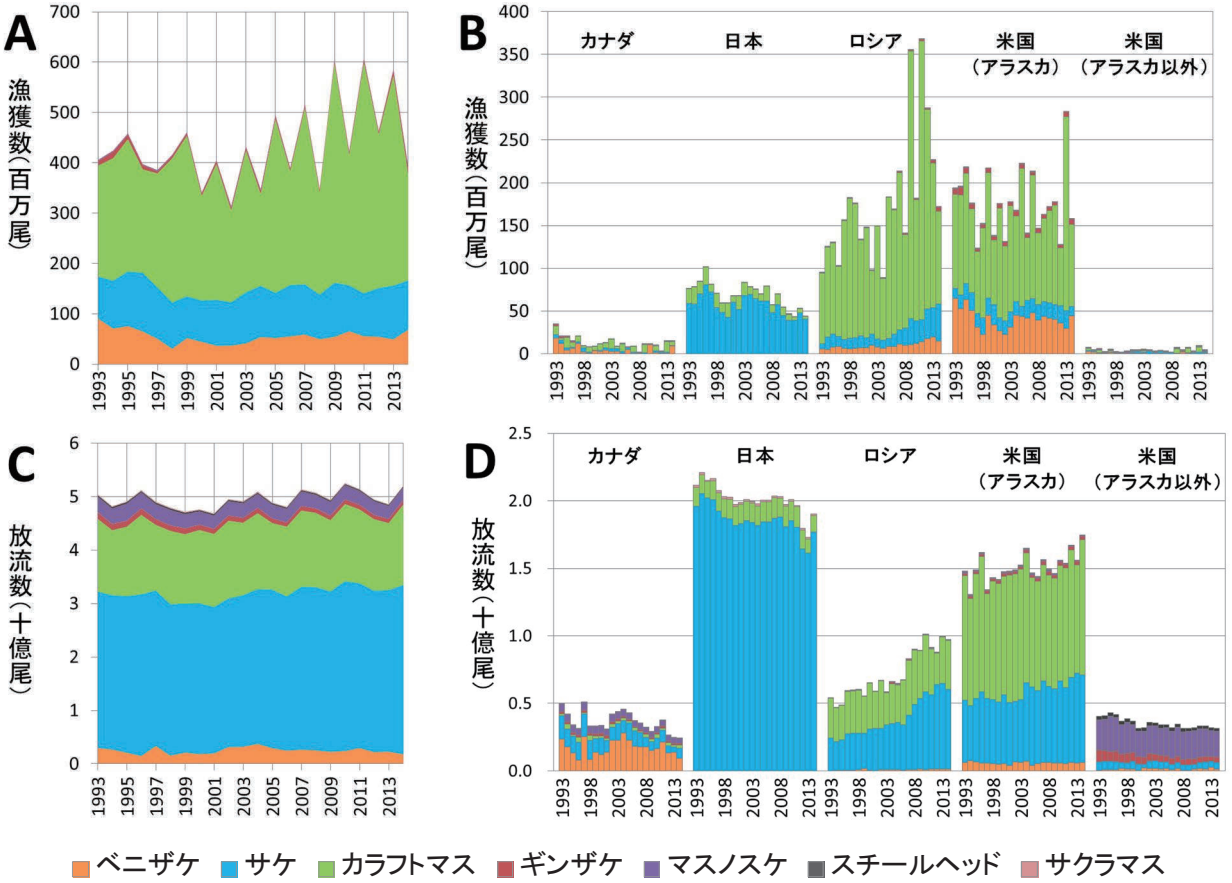

図1. 北太平洋におけるさけます類の魚種別漁獲数（A），地域別魚種別の漁獲数（B），魚種別人工ふ化放流数（C）及び地域別魚種別の人工ふ化放流数（D）.
1993-2013年は「NPAFC Statistical Yearbook」URL:http://www.npafc.org/new/science_statistics.htmlより引用（参照2015-11-11）．なお，2011年の放流数は「NPAFC Statistical Yearbook」に未収録の岩手，宮城県分の放流数を加算してある．2014年はNPAFC年次報告で示された数値を使用．1998年までのロシアにはEEZ（排他的経済水域）で他国が漁獲したものを含む．アラスカ以外の米国はワシントン，オレゴン，カリフォルニア，アイダホ州の合計．韓国は他国に比べ漁獲尾数・放流尾数ともわずかなため図中では省略している．

2015 年度の日本

サケ

2015 年度の来遊数（沿岸漁獲と河川捕獲の合計）は 12 月 31 日現在で 4,402 万尾，前年度同期比 99%となっています. このうち北海道は 3, 677 万尾（前年同期比 105%），本州太平洋側で 598 万尾（前年同期比 71%），本州日本海側で 127 万尾（前年同期比 127%）と前年同期比は地域によって異なる結果となりました（図 2）．総採卵数は 12 月 31 日現在で 20 億 2,289 万粒，前年同期の 99%となっています．今年度は岩手，宮城県の河川捕獲数が 12 月 31 日現在でそれぞれ前年同期比 74%，69%と少なかったのですが，関係者のご尽力により，採卵数は岩手，宮城県でそれぞれ計画の 90%，97%まで確保されています．放流数は計画（約 17 億 5,000 万尾）を少し下回ると見込まれます.

カラフトマス

主産地の北海道における 2015 年度来遊数は 210 万尾で前年度比 133%でした．カラフトマスは来遊数が隔年で変動する特徴があり，2003 年度以降，奇数年は豊漁年，偶数年は不漁年にあたります．今年度は豊漁年の年回りですが，近年の豊漁年の中では来遊数が最も少なく，平成以降最も少なかった前年の次に少ない来遊数となりました．総採卵数は 1 億 4,500 万粒と計画数の 85%に留まっており，放流数も計画（約 1 億 3,600 万尾）を下回る約 1 億 2,000 万尾ほどになると見込まれます（図 3）.

サクラマス

2015 年度の北海道における河川捕獲数は 6,889 尾で前年度比 121%となりました．今年度は前年に続き，全体としては比較的少ない捕獲数でした．捕獲数の対前年比については地域によって異なり，オホーツク海区では前年比 306%の捕獲数であったものの，他の海区は前年比 40～60%の捕獲数でした. そのため採卵数は 336 万粒（前年比 68%）に留まり，そ上系サクラマスの計画数 657 万粒の 51%となりました．なお，2011-2015 年度の本州河川捕獲数については現在確認中です（図 4）.

ベニザケ

2015 年度の北海道 3 河川（安平川・静内川・釧路川）における河川捕獲数は 71 尾で前年度比 26%となりました.

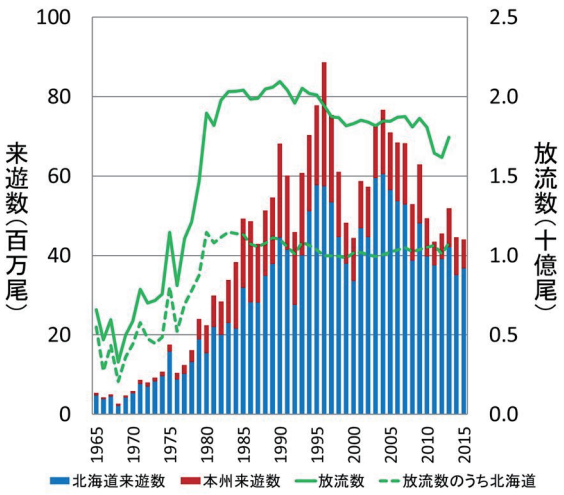

図2. 日本におけるサケの来遊数と人工ふ化放流数. 2015 年度来遊数は12月31日現在.

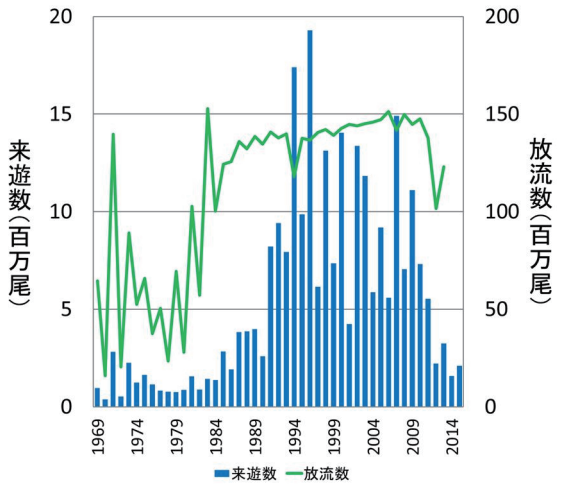

図3. 日本におけるカラフトマスの来遊数と人工ふ化放流数.

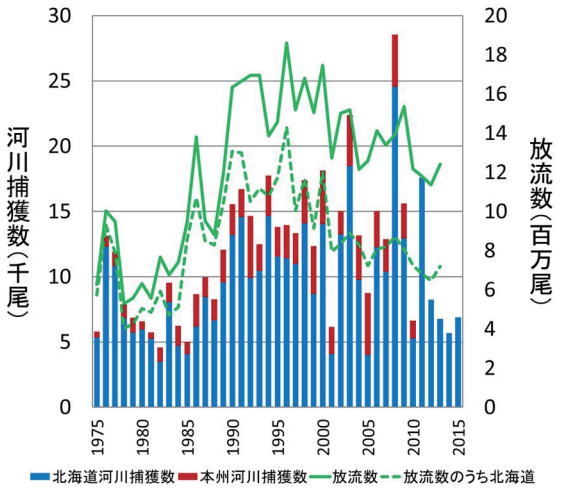

図4. 日本におけるサクラマスの河川捕獲数と人工ふ化放流数. 2011-2015年度の本州河川捕獲数は確認中.

さけます情報

女子美大とコラボでリニューアル「さけます情報館」

佐藤（さとう） 恵久雄（えくお）（北海道区水産研究所 業務推進課）

千歳さけます事業所に併設しているさけの里ふれあい広場は，平成 6 年 12 月に水産庁北海道さけ・ますふ化場（当時）が開設した，採卵から飼育までのふ化放流を体験できることをコンセプトとした施設です．

この施設は明治 21 年に日本で最初の官営さけますふ化場が設置された場所にあり，ふ化放流事業の歴史やさけます類の生態を学べる施設として，観光客のみならず，地元小学校の課外授業などの場としても幅広く利活用されています．

しかし，開館から 21 年が経過して展示物も老朽化し，大幅な更新が必要な状況となっていました．そのような時，水産研究への国民の理解と普及に関わる包括連携協定が女子美術大学と締結され，キャラクター・漫画・アニメ・絵本など様々な手法で，水産分野の研究成果について，高い芸術性を備えつつ正確な科学的事実に基づいたわかりやすいコンテンツを制作していこうという取組が始まりました．この連携の一環として，当展示施設も映像・空間デザインなどに強みを持つ同大学の協力により，子供に楽しんで学んでもらえる展示にリニューアルします．例えば，眼前の大型スクリーンに投影された迫力あるサケ遡上の水中映像，人の動きに反応する映像の展示物，さけます類の生態やふ化放流事業の歴史を楽しみながら学べるゲームや映像システムなどを製作予定です．

平成 28 年 4 月ごろには，リニューアルされた展示施設を皆様に楽しんでいただける見込みです．名称は休憩場所や駐車場など一般公開しているエリア全体が「千歳さけますの森」，その中のリニューアルした展示施設は「さけます情報館」となります．マスコットキャラクター制作も予定しており，これらを活用して，さけます類のふ化放流をはじめ，北海道区水産研究所の業務や研究開発成果を広く知っていただけるようになればと期待しています．

「千歳さけますの森　さけます情報館」のご案内
北海道千歳市蘭越 9 番　千歳さけます事業所構内
電話：0123-23-2804
入館料：無料
開館時間：10 時から 16 時まで
休館日：月曜日，年末年始（12 月 27 日から 1 月 5 日）
http://hnf.fra.affrc.go.jp/fureai/

図1.「さけます情報館」の外観．

図2. 女子美術大学の学生さんによる作品の発表．いくつかは実際の展示に取り入れられる予定です．

図3. 女子美術大学の講師によるサケのビデオ撮影．

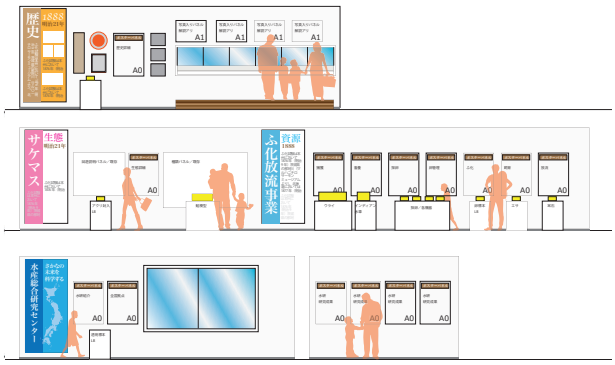

図4. 展示物のイメージ．これは壁面のデザインですが，館内の空間全体がリニューアルされる予定です．

伊茶仁捕獲場（北海道標津郡標津町）．撮影：伊茶仁さけます事業所　徳田 裕志

伊茶仁川（伊茶仁さけます事業所付近）．撮影：根室さけます事業所　北口 裕一

発行：国立研究開発法人水産総合研究センター
編集：国立研究開発法人水産総合研究センター　北海道区水産研究所
〒062-0922 北海道札幌市豊平区中の島 2 条 2 丁目 4-1
TEL　代表 011-822-2131　　業務支援課 011-822-2161
FAX　代表 011-822-3342
URL　http://hnf.fra.affrc.go.jp/
E-mail　www-hnf-info@ml.affrc.go.jp

執筆：水産総合研究センター 北海道区水産研究所，東北区水産研究所，日本海区水産研究所，
岐阜県水産研究所，滋賀県水産試験場，標津サーモン科学館

SALMON 情報 編集委員会
伊藤二美男（委員長），石黒武彦，加藤雅博，佐藤恵久雄，平林幸弘，福澤博明，森田健太郎，矢野 豊

本誌掲載記事，図，写真の無断転載を禁じます．
